



TUGAS AKHIR - SF 141501

Desain *Double Layer Radar Absorbing Materials* dengan Metode *Dallenbach Layer* Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin

DERIL RISTIANI
NRP 1112 100 037

Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SF 141501

Double Layer Design of Radar Absorbing Materials using Dallenbach Layer Method Based on Tanah Laut's Natural Magnetic Materials and Polyaniline

**DERIL RISTIANI
NRP 1112 100 037**

**Advisor
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Physics Departement
Faculty of Matematics and Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**Desain *Double Layer* Radar Absorbing Materials
dengan Metode *Dallenbach Layer* Berbasis
Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan
Polianilin**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
DERIL RISTIANI
NRP. 1112 100 037

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. M. Zainuri, M.Si
NIP. 19640130 199002 1 001



SURABAYA, 20 JULI 2016

Desain *Double Layer Radar Absorbing Materials* dengan Metode *Dallenbach Layer* Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin

Nama : Deril Ristiani
NRP : 11 12 100 037
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstrak

Pelapisan double layer dengan menggunakan material PANi, BaM, dan komposit PB telah berhasil dibuat sebagai Radar Absorbing Material (RAM). Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) dan PANi masing-masing disintesis dengan metode kopresipitasi dan reaksi kimiawi. Material RAM dikarakterisasi menggunakan X-ray diffraction (XRD), RCL meter, Fourier Transform Infrared (FTIR), Vibrating Sample Magnetometer (VSM), Scanning Electron Microscope (SEM), dan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa PANi, BaM, dan komposit PB memiliki nilai konduktivitas listrik sebesar $0,2371 \text{ Scm}^{-1}$, $6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$, dan $7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$. Sifat kemagnetan BaM berhasil direduksi dengan penambahan doping ion Zn^{2+} , diperoleh nilai medan koersivitas 0,0506 Tesla. Rugi refleksi single layer (BaM, PANi) dan double layer (P-B, P-PB, B-PB) diukur menggunakan VNA. Desain double layer menghasilkan nilai rugi refleksi terbesar dibandingkan dengan desain single layer. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa double layer P-PB memiliki rugi refleksi maksimum yaitu sebesar -49,6 dB dengan energy gelombang mikro yang diserap ~99,89%. Double layer efektif memperlebar pita penyerapan pada rentang frekuensi X-Band dengan karakteristik membentuk puncak serapan pada frekuensi tertentu yaitu BaM 8,6-10 GHz, PANi 8,0-9,3GHz, P-B 8,1-9,64 GHz, B-PB 8,5-9,98 GHz, dan P-PB 8,2-10 GHz. Pelebaran pita penyerapan paling optimal adalah pada pelapisan

double layer P-PB dengan lebar frekuensi penyerapan sebesar 1,8 GHz.

Kata Kunci: *barium M-heksaferit, double layer, konduktivitas, polianilin, radar, RAM, reflection loss.*

Double Layer Design of Radar Absorbing Materials using Dallenbach Layer Method Based on Tanah Laut's Natural Magnetic Materials and Polyaniline

Name : Deril Ristiani
Student Identity : 11 12 100 037
Department : Physics FMIPA-ITS
Advisor : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstract

Double layer coating of PANi, BaM, and PB composites material has successfully made as Radar Absorbing Material (RAM). Barium M-Hexaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) and PANi each was synthesized by coprecipitation and chemical reactions. RAM were characterized by X-ray diffraction (XRD), RCL meter, Fourier Transform Infrared (FTIR), Vibrating Sample Magnetometer (VSM), Scanning Electron Microscope (SEM), and Vector Network Analyzer (VNA). The result were shown that PANi, BaM, and PB composites have electrical conductivity value each respectively 0.2371 Scm^{-1} , $6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$, and $7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$. The magnetic properties of BaM was reduced by the addition of Zn^{2+} ion, it have the coercivity field on 0.0506 Tesla. Reflection loss of single layer (BaM, PANi) and double layer (P-B, P-PB, B-PB) were measured using VNA. Double layer design have produced the greatest reflection loss value than single layer design. Based on this experiment we know that double layer P-PB have reflection loss optimum -49.6 dB with absorbed microwave energy is $\sim 99.89\%$. Double layer is effective to increase of absorption bandwidth on X-Band frequency range, the characteristic of forming absorption peak at a specific frequency that are BaM 8.6 to 10 GHz, PANi 8,0-9,3GHz, P-B 8.1 to 9.64 GHz, B-PB 8.5 to 9.98 GHz, and P-PB 8.2 to 10 GHz. Increasing of absorption bandwidth is the most optimum on double layer coating P-PB with wide absorption frequency is 1.8 GHz.

Keyword: *barium M-heksaferit, conductivity, double layer, polianilin, radar, RAM, reflection loss.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB IPENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB IITINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pasir Besi	5
2.2 Sifat Kemagnetan Material	7
2.3 Barium M-Heksaferit (BaM)	8
2.4 Polianilin (PANi)	11
2.5 Resonant Absorber	14
2.6 Metode Kopresipitasi	16
BAB IIIMETODOLOGI	
3.1 Alat dan Bahan	19
3.1.1 Alat	19
3.1.2 Bahan	19
3.2 Langkah Kerja	19

3.2.1 Preparasi dan Pemurnian Serbuk Pasir Besi	19
3.2.2 Sintesis $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$	20
3.2.3 Sintesis Barium M-Heksaferit	20
3.2.4 Sintesis PANi	20
3.2.5 Pelapisan Double Layer	21
3.3 Karakterisasi Sampel	22
3.4 Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Preparasi Pasir Besi	27
4.2 Hasil Sintesis Material RAM	29
4.2.1 Material Magnetik (Barium M-Heksaferit)	29
4.2.2 Material Konduktif (Polianilin)	31
4.3 Identifikasi Fasa RAM	35
4.4 Identifikasi Ikatan Molekular RAM	35
4.5 Analisis Sifat Kemagnetan RAM	38
4.6 Analisis Sifat Kelistrikan RAM	42
4.7 Analisis Struktur Mikro dan Distribusi Elemen RAM	45
4.8 Analisis Penyerapan Gelombang Mikro Lapisan <i>Double Layer</i>	48
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur spinel Fe_3O_4 berdasarkan data CIF dengan kode 1010369	6
Gambar 2.2 Kurva Histerisis	7
Gambar 2.3 Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	8
Gambar 2.4 Kurva Histeresis Barium Hexaferrite tersubstitusi Zndengan konsentrasi Zn yang berbeda-beda pada temperature ruang.....	10
Gambar 2.5 Mekanisme difusi	10
Gambar 2.6 Struktur umum polianilin	12
Gambar 2.7 Struktur polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda ($y=1$:leukoemeraldin, $y=0,5$: emeraldin, dan $y=0$: pernigranilin.....	13
Gambar 2.8 Proses Doping Polianilin dengan DBSA	14
Gambar 2.9 <i>Dallenbach layer</i>	15
Gambar 2.10 Metode Kopresipitasi.....	17
Gambar 3.1 Pelapisan <i>double layer</i> material PANi dan BaM pada baja	22
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis BaM	24
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis PANi	25
Gambar 3.4 Diagram alir pelapisan material	26
Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X pasir besi.....	28
Gambar 4.2 Serbuk BaM (a) prekursor (b) setelah kaslinasi.....	30
Gambar 4.3 Serbuk Polianilin	31
Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)	32
Gambar 4.5 Pola difraksi sinar-X Polianilin	35
Gambar 4.6 Spektrum FTIR BaM dan PANi	36
Gambar 4.7 Hasil VSM BaMDoping Zn dengan $x=0,3$	39
Gambar 4.8 Konduktivitas Listrik Material RAM	42

Gambar 4.9Proses Doping Polianilin dengan DBSA	43
Gambar 4.10Hasil pengamatan morfologi $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$	45
Gambar 4.11Hasil pengamatan SEM-EDX material BaM.....	46
Gambar 4.12(a) Baja AH36 (b) denganpelapis	49
Gambar 4.13Grafik rugi refleksi pada frekuensi <i>X-Band</i>	49
Gambar 4.14Pelebaran pita penyerapan padafrekuensi <i>X-Band</i> ...	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis ferit dan rumus kimianya	6
Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi Pasir Besi Tanah Laut dengan XRF (<i>X-Ray Flourescence</i>)	27
Tabel 4.2 Data spektroskopi FTIR Polianilin dan BaM dibandingkan dengan data referensi	36
Tabel 4.3 Persentase persebaran elemen penyusun BaM	47
Tabel 4.4 Data karakteristik penyerapan material RAM	50
Tabel 4.5 Pelebaran pita penyerapan pelapisan <i>double layer</i>	53

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	61
LAMPIRAN B	65
LAMPIRAN C	69
LAMPIRAN D	71
LAMPIRAN E	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perangkat teknologi yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik (EM) berkembang luas dalam aplikasi rekayasa setelah berkembangnya teori elektromagnetik di abad ke-19. Gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh sumber daya dengan panjang gelombang tertentu yang digunakan untuk tujuan yang berbeda, salah satunya digunakan sebagai *radio detection and ranging* (RADAR) dalam aplikasi militer dan komersial (Gürer, 2010). *Radio Detection and Ranging* (RADAR) adalah suatu sistem gelombang elektromagnetik yang dapat digunakan sebagai alat deteksi, pengukur jarak, dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang. Dengan menganalisis sinyal yang dipantulkan radar maka dapat ditentukan lokasi target dan melalui analisis lebih lanjut dari sinyal yang dipantulkan dapat juga ditentukan jenis target. Deteksi radar pada target didasarkan pada *Radar Cross Section* (RCS). RCS merupakan daerah pada target yang memantulkan sinyal yang datang berdasarkan ukuran, bentuk, maupun material dari target (Knott, 2005).

Dalam dunia kemiliteran dan pertahanan suatu negara, radar dimanfaatkan oleh angkatan laut/ darat untuk mendeteksi kapal dan pesawat asing yang masuk ke batas wilayah teritorial suatu negara. Dalam beberapa dekade terakhir ini sedang dikembangkan teknologi anti radar sebagai penunjang pertahanan suatu negara. Teknologi ini pada umumnya diaplikasikan pada kapal perang dan pesawat perang sehingga kapal dan pesawat perang tidak dapat dideteksi oleh radar musuh (*stealth technology*). Teknologi siluman ini didasarkan pada dua aspek yaitu desain geometri yang dirancang bersudut radar absorbing structure (RAS), sehingga pantulan gelombang elektromagnetik tidak dapat ditangkap kembali oleh receiver dan metode pelapisan pada badan pesawat maupun kapal perang berbasis pada material penyerap gelombang radar (RAM), sedemikian sehingga

gelombang radar yang dipantulkan sangat lemah (Ramprecht dan Sjöberg, 2007).

Penelitian ini merujuk pada teknologi pelapisan dengan bahan penyerap radar (RAM) untuk memperkecil *radar cross section* (RCS). Bahan yang dikembangkan sebagai bahan penyerap radar adalah *Barium M-Hexaferrite* (BaM) yang memiliki magnetic saturasi dan medan koersivitas tinggi. Barium M-Heksaferit termasuk material *hard magnetic* yang disebabkan oleh sifat anisotropik pada struktur kristalnya (Ghasemi et al., 2006). Anisotropi dari Barium M-Heksaferit dapat direduksi dengan substitusi Fe^{3+} dengan ion divalent seperti Zn, Al, Cu, Co, Ni, dan lain-lain, sehingga dengan substitusi ini diharapkan Barium M-Heksaferit dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang elektromagnet dengan nilai absorpsi yang lebih besar (Meshram et al., 2004). Dengan pengaplikasian BaM sebagai bahan penyerap radar maka diperoleh dua manfaat sekaligus yaitu dari aspek teknologi penyerap radar dan aspek ekonomis dari bahan alam pasir besi Tanah Laut Kalimantan sebagai salah satu komponen penyusun BaM yang cenderung meningkat (Saville, 2005).

Penelitian Umi et. al (2014) mengenai sintesis Barium M-Heksaferit dengan doping ion Zn pada variasi konsentrasi ion Zn menghasilkan penurunan sifat magnetik Barium M-Heksaferit (BaM) paling optimum pada $x=0,3$ ($H_c=0,0506$ T; $M_r=14,782$ emu/g). Selain itu, Barium M-Heksaferit dapat dipadukan dengan material konduktif untuk merekayasa sifat magnet, sifat listrik, dan meningkatkan kemampuan penyerapan gelombang mikro. Poliannilin (PANi) dipilih sebagai material konduktif pada komposit ini. Sebelumnya Amalia (2014) melakukan penelitian mengenai komposit PANi/BaM yang menunjukkan bahwa dengan komposit PANi/BaM dapat meningkatkan rugi refleksi. Hal tersebut menunjukkan komposit PANi/BaM sebagai material konduktif-magnetik mampu memaksimalkan penyerapan gelombang mikro yang terdiri dari kompoonen medan listrik dan komponen medan magnet.

Penelitian ini mengembangkan pembuatan bahan penyerap berbasis material magnetik (Barium M-Heksaferit) dan material konduktif (Polianilin) untuk mendapatkan minimum refleksi dan memperlebar jangkauan penyerapan gelombang radar. BaM akan didoping dengan ion Zn pada $x=0,3$ untuk menurunkan sifat magnetik BaM. Kemudian BaM akan dikompositkan dengan PANi untuk memaksimalkan penyerapan gelombang mikro. Pembuatan komposit PANi/ BaM dengan material BaM berbasis pasir besi Tanah Laut dapat dijadikan alternatif material yang lebih murah dari pada bahan sintetis. Feng et. al, (2007) meneliti tentang sifat penyerapan dan desain struktur *layer* menggunakan material *Barium Ferrite* dan Besi Karbon yang menunjukkan bahwa dengan penggunaan *double layer* dapat memperlebar rentang area penyerapan gelombang mikro sedangkan menggunakan *single layer* tidak dapat menghasilkan minimum refleksi dengan pita yang lebar. Berdasarkan hasil penelitian Feng et. al, (2007) tersebut maka pada penelitian ini akan dikembangkan desain *double layer* dari material konduktif PANi dan material magnetik BaM sebagai material penyerap radar. Pelapisan *double layer* dilakukan dengan metode pelapisan *Dallenbach* dengan ketebalan lapisan yang digunakan memenuhi seperempat panjang gelombang sehingga sangat spesifik pada daerah penyerapan yang diinginkan (Saville, 2005).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

1. Bagaimana membentuk partikel Barium M-Heksaferit terdoping Zn?
2. Bagaimana pengaruh pelapisan komposit *double layer* Barium M-Heksaferit dan Polianilin konduktif terhadap jangkauan penyerapan gelombang radar pada range frekuensi X-Band?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada Material Barium M-Heksaferit disintesis dengan sumber precursor ion Fe dari pasir besi Tanah Laut Kalimantan, Material Barium M-Heksaferit dilakukan pemberian dopan Zn dengan $x=0,3$, Material PANi dilakukan sintesis senyawa kimia dengan pemberian dopan DBSA, pelapisan *double layer* dilakukan dengan metode *Dallenbach layer*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Membentuk partikel Barium M-Heksaferit terdoping Zn
2. Memperlebar jangkauan penyerapan gelombang radar pada range frekuensi *X-Band* menggunakan komposit *double layer* Barium M-Heksaferit dan Polianilin konduktif.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian, Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, dan Bab V kesimpulan dan saran.

1.6 Manfaat Hasil Penelitian

Manfaat yang dari penelitian ini yakni menghasilkan material penyerap radar berbasis pelapisan *double layer* PANi dan BaM yang dapat menunjang kelengkapan system pertahanan NKRI.

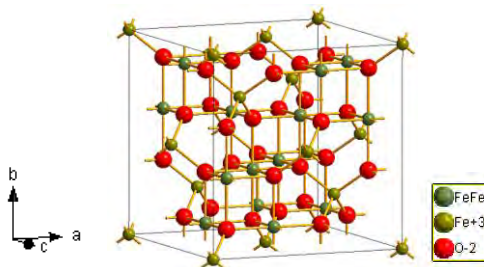
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi

Besi merupakan unsur logam kedua yang melimpah di alam setelah Aluminium. Besi juga merupakan unsur keempat yang paling banyak terdapat di bumi. Bijih utama unsur logam besi terdapat dalam mineral hematite (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4), Limonit ($\text{FeO}(\text{OH})$), dan siderit (FeCO_3). Di Indonesia bijih-bijih besi ini banyak terdapat di Kalimantan Barat, Sumatra Barat, Sumatra Selatan, Sulawesi tengah dan Pulau Jawa dalam bentuk pasir besi maupun batuan besi. Magnetit (Fe_3O_4) memiliki interaksi yang lebih kuat di dalam medan magnet daripada Hematite (Fe_2O_3) yang memiliki interaksi lebih lemah dalam medan magnet. Dengan kelimpahan pasir besi dan batuan besi dialam maka dapat dimanfaatkan dalam bidang *material science* dan diekstrak menjadi hematite maupun magnetit yang lebih murni.

Besi (II, III) oksida adalah senyawa kimia dengan rumus Fe_3O_4 dan secara umum dinamakan ferit oksida (*Ferrous-ferric oxide*). Terbentuk secara alami di alam sebagai mineral magnetit dan merupakan anggota dari group spinel. Serbuk besi Fe_3O_4 biasanya berwarna hitam, bersifat magnet permanen dan merupakan bahan feromagnetik. Dalam magnetit (Fe_3O_4) mengandung ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} . Rumus kimia magnetit/ferit sering ditulis dalam bentuk $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, dengan satu bagian adalah *wustite* (FeO) dan bagian yang lainnya adalah hematite (Fe_2O_3). Struktur Fe_3O_4 membentuk spinel *invers* dalam bentuk kubik. Berdasarkan data *crystallography* (CIF) dengan kode 1010369 diketahui bahwa Fe_3O_4 memiliki *space group* $F d \bar{3} m$ (227) dengan parameter kisi $a=b=c$ sebesar 8,3840 Å dan sudut $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$. Temperatur curie dari megnetit adalah 858 K, dan larut secara lambat dalam asam klorida. Berikut merupakan struktur Fe_3O_4 .



Gambar 2.1 Struktur spinel Fe_3O_4 berdasarkan data CIF dengan kode 1010369

Istilah ferit secara umum digunakan untuk menggambarkan kelas senyawa oksida magnetik yang mengandung oksida besi sebagai komponen utama. Magnetit (Fe_3O_4) juga disebut *loadstone* adalah ferit asli dan juga merupakan bahan magnetik pertama yang diketahui orang-orang kuno. Ferit dapat diklasifikasikan menurut struktur kristalnya yaitu kubik dan ferit heksagonal, berdasarkan perilaku magnetik yaitu *soft magnetic* dan *hard magnetic*. Ferit dengan sifat *hard magnetic* diproduksi dari oksida besi dan barium atau strontium oksida. Bahan baku dicampur bersama-sama dan biasanya disinter sebelumnya untuk menghasilkan fase magnetik. Hasil sinter tersebut kemudian dihaluskan dan serbuk yang dihasilkan akan ditekan bersama-sama (basah atau kering) baik dalam medan magnet (an-isotropik) atau tanpa medan magnet (isotropik) dan kemudian disinter kembali. Ferrites memiliki efek isolasi listrik yang sangat baik dan sulit untuk demagnetisasi bahkan dalam medan magnet eksternal yang kuat. *Hard ferrite* memiliki struktur heksagonal dan dapat diklasifikasikan sebagai ferit tipe M-, W-, X-, Y-, Z-, dan U- (Gill, 2012).

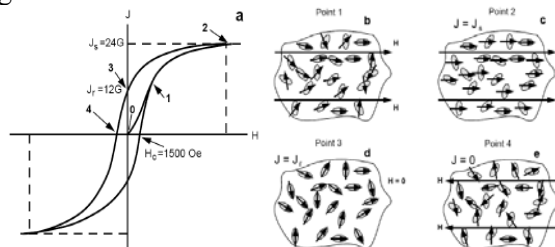
Tabel 2.1 Jenis ferit dan rumus kimianya (Gill, 2012).

Tipe	Rumus Kimia	Keterangan
M-	$\text{RFe}_{12}\text{O}_{19}$	R = Ba, Sr, Pb
W-	$\text{RMe}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$	Me = Fe^{+2} , Ni^{+2} , Mn^{+2}
X-	$\text{R}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{28}\text{O}_{46}$	dll

Y-	$R_2Me_2Fe_{12}O_{22}$
Z-	$R_3Me_2Fe_{24}O_{41}$
U-	$R_4Me_2Fe_{36}O_{60}$

2.2 Sifat Kemagnetan Material

Besaran-besaran penting dalam menentukan sifat magnetik berdasarkan kurva histeresis adalah magnetik saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c) dan magnetisasi remanen (M_r) ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Pradhana, 2009). Nilai magnetisasi saturasi atau dikenal dengan magnetisasi jenuh menunjukkan kemampuan partikel nano untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya ketika masih dikenai medan magnet luar. Medan koersivitas merupakan besarnya medan magnet balik yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasinya bernilai nol. Semakin besar nilainya semakin kuat pula sifat kemagnetannya. Sedangkan magnetisasi remanen adalah remanensi magnet yang tersisa di dalam bahan setelah pengaruh medan magnet luar diiadakan.



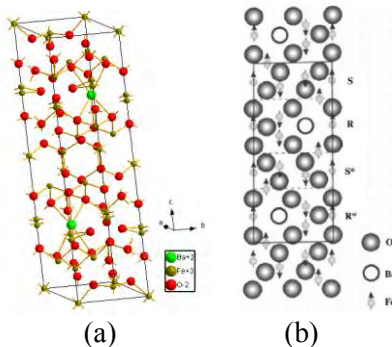
Gambar 2.2 Kurva Histerisis

Pada titik 1 sampel dengan momen magnet acak disearahkan dengan medan magnet luar H . Kemudian pada titik 2 momen dipole searah magnetisasinya menguat sesuai dengan besar H , pada medan magnetisasi mulai jenuh akan konstan. Pada titik 3 medan magnet luar dilepas ($H=0$), maka momen dipole kembali acak dengan masih punya magnetisasi remanen. Pada titik 4 bila diberikan H negative, momen dipole disearahkan kembali pada arah negative sampai jenuh (Pradhana, 2009).

2.3 Barium M-Heksaferit (BaM)

Magnet M-Heksaferit ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur hexagonal ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), sehingga dikenal juga dengan nama barium hexaferrit. Kristal dan struktur magnet dari berbagai jenis *hexaferrite* yang sangat kompleks seperti M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ditunjukkan pada gambar 2.3. Sel satuan dasar berisi sepuluh lapisan oksigen, secara berurutan dibangun oleh 4 blok yaitu S (spinel), R (heksagonal), S^* dan R^* . Blok S^* dan R^* memiliki susunan atom yang sama, tetapi dirotasikan pada 180° terhadap S dan blok R dirotasikan sekitar sumbu c. Blok S atau S^* terdiri dari dua lapisan O^{2-} , sementara blok R atau R^* berisi tiga lapisan O^{2-} dengan satu oksigen berada di lapisan tengah yang disubstitusi oleh ion Ba^{2+} (Gill, 2012).

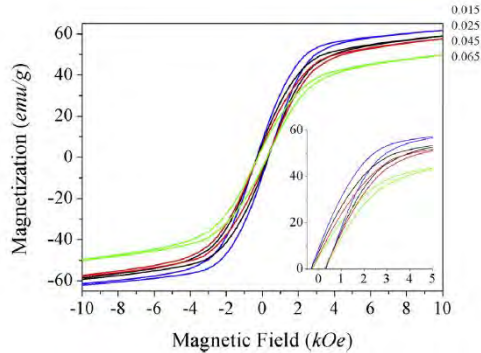
Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu magnet permanen dengan struktur heksagonal dengan space group $P6_3/mmc$ serta memiliki temperatur melting yang sangat tinggi yaitu 1390°C . Berdasarkan data CIF dengan kode 1008326, Bariumheksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) memiliki dua parameter kisi yaitu lebar dari bidang heksagonal $a = 5,929 \text{ \AA}$, dan tinggi dari kristal $c = 23,413 \text{ \AA}$. Berikut merupakan gambar struktur kristal dari Bariumheksaferit.



Gambar 2.3 (a) Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ berdasarkan data CIF dengan kode 1008326, dan (b) Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Gill, 2012).

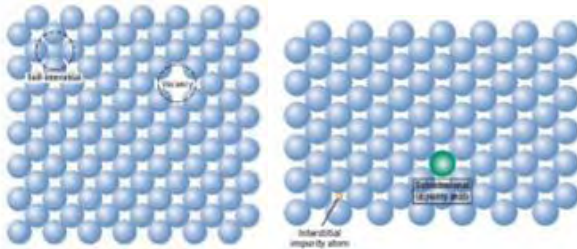
Barium M-Heksaferit termasuk *Hexagonal ferrit* yang memiliki resistifitas, anisotropik magnetokristalin, dan magnetisasi saturasi yang tinggi, serta tegangan hilang dielektrik yang rendah pada stabilitas termal (Hahn dan Han, 2006). BaM memiliki magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 72 emu/g, nilai medan koersivitas (H_c) sebesar 6700 Oe dan temperatur *Curie* sebesar 450°C (Zainuri, 2010). Barium M-Heksaferit memiliki medan koersivitas (H_c) terlalu tinggi sehingga untuk mereduksinya, ion besi dalam fasa-M bisa disubstitusi dengan kation logam lain yang ukurannya hampir sama (misalnya Al^{3+} , Ga^{3+} , Co^{2+} , Ti^{4+} , Zn^{2+}). Divalent logam transisi seperti Co, Zn, Ti, dan Mn sering digunakan karena persamaan jari-jari ionik dan konfigurasi elektronnya. Salah satu ion pendoping yang sering digunakan adalah ion *Zinc* (Zn) dimana Zn bersifat diamagnetik dan secara umum memiliki bilangan oksidasi +2. Jari-jari ionik Zn^{2+} adalah 0,074 nm, sedangkan jari-jari ionik Fe^{3+} adalah 0,065 nm, sehingga memungkinkan ion Fe^{3+} disubstitusi oleh Zn^{2+} . Penyisipan ion Zn^{2+} pada struktur M-heksagonal menggantikan ion Fe^{3+} tidak merubah stuktur kristal yang sudah ada. Pendopingan ion Zn^{2+} ini sebagai pengganggu dalam kemagnetan Barium M-Heksaferit, dimana penyisipan ion Zn^{2+} pada struktur M-heksagonal menggantikan ion Fe^{3+} tidak merubah stuktur kristal yang sudah ada namun digunakan untuk mengacak-acak susunan domain magnetic sehingga dapat menurunkan sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit sehingga sifatnya menjadi *soft magnetic* (Sholihah dan Zainuri, 2012)

Penelitian mengenai karakterisasi pertumbuhan, struktural dan sifat magnetik dari Barium M-Heksaferit kristal tunggal tersubstitusi Zn menghasilkan kurva histeresis Barium M-Heksaferit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 yang menunjukkan kurva bersifat *soft magnetic* (Vinnik et al., 2015).



Gambar 2.4 Kurva Histeresis *Barium Hexaferrite* tersubstitusi Zn dengan konsentrasi Zn yang berbeda-beda pada temperature ruang (Vinnik et al., 2015)

Berdasarkan pada penelitian Vinnik et al. mengenai sintesis *Barium M-Hexaferrite* tersubstitusi Zn diketahui bahwa konsentrasi ion doping (ion Zn) mempengaruhi structural dan sifat kemagnetan *Barium M-Hexaferrite*. Parameter kisi mengalami pergeseran seiring bertambahnya konsentrasi dopan (ion Zn). Substitusi ion Zn memiliki efek yang signifikan pada nilai medan koersivitas dan medan magnetisasi pada *Barium M-Hexaferrite*, sedangkan suhu curie terlihat hampir konstan pada setiap konsentrasi doping. Studi ini memungkinkan untuk merekayasa sifat kemagnetan termasuk anisotropi magnetokristalin dari $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada rentang yang luas melalui doping ion Zn (Vinnik et al., 2015).



Gambar 2.5 Mekanisme difusi (Callister and Rethwisch, 2009)

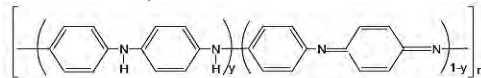
Proses substitusi ion terjadi apabila perpindahan atom yang memiliki ukuran yang relatif sama atau lebih kecil 15% dari atom induknya, atom dapat berpindah jika terdapat kekosongan (*vacancy*) dan memiliki energi vibrasi yang cukup untuk melewati energi hambat yang terjadi dalam proses difusi. Difusi adalah pergerakan atom-atom dari suatu tempat ke tempat lain akibat adanya energi yang berasal dari panas yang diberikan kepada atom tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5. Proses ini cenderung terjadi pada ukuran atom yang bermigran sangat kecil. Ada kemungkinan yang dapat terjadi pada difusi substitusi yaitu perpindahan atom itu sendiri menuju *vacancy* dan perpindahan *vacancy* menggantikan tempat atom yang pindah. Dalam hal ini, proses difusi atom-atom untuk pindah dari posisi interstisi sebelumnya dalam kisi yang tidak sempurna (Callister dan Rethwisch, 2009).

2.4 Polianilin (PANi)

Polimer konduktif adalah sebuah polimer organik yang dapat bertindak sebagai semikonduktor atau konduktor. Polimer organik yang paling banyak diteliti adalah polianilin (PANi), polipirol, polythiophene dan polifenilena vinylene. Polimer konduktif terkonjugasi yang memiliki delokalisasi elektron π sepanjang rantai polimer sehingga memberikan sifat optik dan sifat listrik yang unik (Molapo et al., 2012).

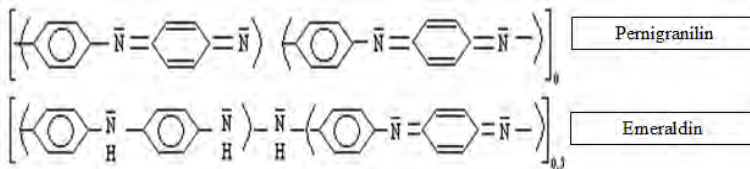
Anilin adalah salah satu senyawa yang termasuk kedalam kelompok amina. Rumus molekul dari anilin adalah $C_6H_5NH_2$. Anilin merupakan senyawa turunan benzene, yang salah satu atom H diganti dengan gugus $-NH_2$. Polianilin merupakan polimer yang berasal dari polimerisasi anilin. Polianilin merupakan polimer terkonjugasi yang memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan bersifat *reversible* dalam proses doping. Polianilin awalnya ditemukan pada tahun 1834 oleh Runge dan disebut sebagai anilin hitam. Polianilin sendiri merupakan bahan polimer yang terbentuk dari pengulangan unit kimia monomer – monomer anilin ($C_6H_5NH_2$). Dalam polianilin, penggabungan dari monomer – monomer anilin tersebut membentuk cincin – cincin

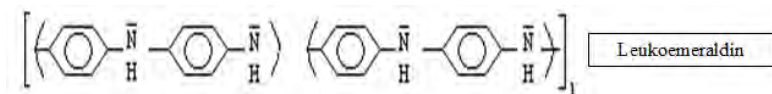
benzoid dan quinoid yang dihubungkan satu dengan yang lainnya oleh atom – atom nitrogen melalui ikatan amin dan imin. PANi memiliki karakteristik umum berwarna hijau. Selain itu, ditemukan bahwa PANi memiliki karakteristik peralihan antara konduktor dan isolator dibawah kondisi eksperimen tertentu. Sebagai polimer oksidasi yang terdiri dari benzo dan unit quinoid teroksidasi, oksidasi rata-rata PANi ini dilambangkan sebagai 1-y dimana nilai y menentukan keberadaan masing-masing dari tiga keadaan oksidasi PANi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada struktur kimia polianilin, indeks y menyatakan tingkat oksidasi dari basa polianilin yang nilainya berkisar antara nol sampai satu ($0 \leq y \leq 1$). Berdasarkan tingkat oksidasinya, ada 3 jenis struktur polianilin dalam bentuk basa pernigranilin ($y=0$), emeraldin ($y=0,5$), dan leukoemeraldin ($y=1$) (Huang dan Kaner, 2004).



Gambar 2.6 Struktur umum polianilin (Huang dan Kaner, 2004)

Oksidasi yang terjadi pada polimer dapat diartikan bahwa polimer tersebut telah kehilangan atom H yang berikatan kovalen dengan atom N disebelah cincin benzoid. Penarikan atom H (reduksi) pada dua atom N berdekatan yang diciptakan oleh cincin quinoid tersebut akan mengubah cincin quinoid menjadi cincin benzoid. Proses ini juga mengubah atom N dari bentuk amin (terhibridasi sp^3) menjadi bentuk imin (terhibridasi sp^2). Dari penelitian yang dilakukan terhadap polianilin yang dibuat secara kimiawi diketahui bahwa y mempunyai tiga nilai yang berbeda dengan tiga struktur polianilin yang berbeda pula.

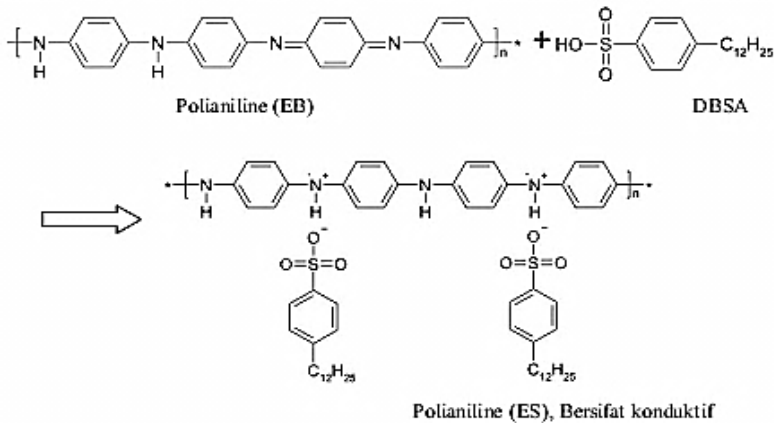




Gambar 2.7 Struktur polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda ($y=1$:leukoemeraldin, $y=0,5$: emeraldin, dan $y=0$: pernigranilin (Huang dan Kaner, 2004)

Nilai $y=0$ menyatakan tingkat teroksidasi penuh yang menghasilkan polianilin dalam bentuk basa pernigranilin. Pada keadaan pernigranilin, semua nitrogen yang ada berbentuk imina. Nilai $y=0,5$ menyatakan tingkat setengah teroksidasi menghasilkan polianilin berbentuk basa emeraldin (EB). Pada bentuk emeraldin, perbandingan antara gugus amina dengan imina yang tidak terprotonasi adalah 1:1. Nilai $y=1$ menunjukkan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polianilin bentuk leukoemeraldin dimana semua nitrogen berbentuk amina. Bentuk polianilin yang paling penting adalah emeraldin terprotonasi. Emeraldin terprotonasi bersifat stabil dan sukar larut pada pelarut apapun (Molapo et al., 2012).

Ketiga bentuk polianilin teroksidasi tersebut bersifat isolator. Salah satu cara peningkatan konduktivitas bahan polimer adalah dengan menambahkan bahan tertentu pada bahan polimer (mendopan), sehingga konduktivitas listrik tidak timbul dari polimer tersebut, tetapi berasal dari sisipan fasa kedua yang bersifat konduktor (Vlack, 1984). Polianilin emeraldin dapat menjadi konduktif melalui reaksi non-redox yaitu protonasi melalui doping dengan asam kuat seperti *dodecylbenzenesulphonic acid* (DBSA) untuk menghasilkan garam emeraldin (Tsotra dan Friedrich, 2004). DBSA selain berperan sebagai doping juga berperan sebagai surfaktan (Han, Kusunose, dan Sekino, 2009). Proses protonasi ini menghasilkan cacat rantai, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik. Proses doping ini dapat meningkatkan konduktivitas PANi sampai orde 10^{10} (MacDiarmid, 2001)



Gambar 2.8 Proses Doping Polianilin dengan DBSA (Tsotra dan Friedrich, 2004)

2.5 Resonant Absorber

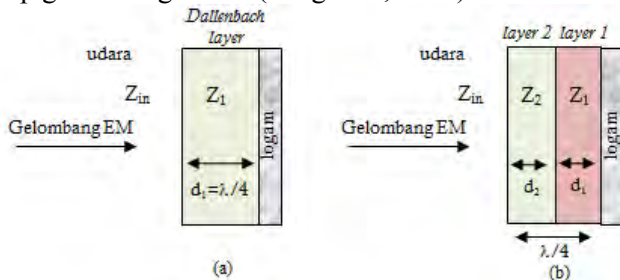
Penyerap radar dapat diklasifikasikan dalam 5 jenis yaitu antarmuka bertingkat-*impedance matching*, *resonant materials*, *circuit analog RAM*, *magnetic RAM*, Adaptif RAM. Pada penelitian ini digunakan prinsip penyerapan radar berdasarkan *Resonant Materials*. *Resonant materials* biasanya disebut tuned atau material penyerap seperempat gelombang dan mencakup lapisan *Dallenbach*, *Salisbury screen* dan lapisan Jaumann. Dalam kelas bahan yang impedansinya tidak cocok antara gelombang datang dengan media penyerap dan bahan tersebut merupakan lapisan tipis sehingga tidak semua daya diserap. Susunan ini menghasilkan pantulan dan transmisi pada antarmuka pertama. Gelombang yang dipantulkan mengalami pembalikan fase sebesar π . Gelombang datang pada permukaan material resonan selanjutnya ditransmisikan ke medium penyerap dan direfleksikan kembali oleh logam. Pemantulan kedua juga menghasilkan pembalikan fase sebesar π sebelum gelombang merambat kembali ke medium gelombang datang. Jika jarak perjalanan optik oleh gelombang yang ditransmisikan adalah kelipatan genap dari $1/2$ panjang gelombang maka dua

gelombang yang dipantulkan akan keluar dari fase dan terjadi interferensi destruktif. Jika besar dua gelombang yang dipantulkan sama maka intensitas total refleksinya nol (Saville, 2005).

Dalam penelitian ini digunakan prinsip *resonant materials* dengan metode pelapisan *Dallenbach (Tuned)*. Lapisan *Dallenbach* merupakan lapisan penyerap homogeny yang dilapiskan diatas pelat konduktor seperti logam, lihat Gambar 2.9. Ketebalan lapisan, permitivitas dan permeabilitas dapat disesuaikan sehingga diperoleh reflektifitas minimum untuk panjang gelombang yang diinginkan. Lapisan *Dallenbach* bergantung pada interferensi destruktif gelombang yang dipantulkan dari antarmuka pertama dan kedua. Untuk meminimalkan refleksifitas, impedansi efektif lapisan (Z_L) harus sama dengan impedansi gelombang datang (Z_0) (Saville, 2005). Untuk refleksi minimum *single layer* maka harus memenuhi persamaan 1 berikut ini.

$$Z_{in} = Z_1 \tanh \gamma_1 d_1 \dots\dots\dots(1)$$

dengan Z_{in} adalah impedansi masukan yang diukur dari permukaan ke penyerap. Z_1 adalah impedansi karakteristik, γ_1 adalah tetapan rambat, d_1 adalah ketebalan lapisan pertama penyerap gelombang mikro (Feng et al, 2007).



Gambar 2.9 *Dallenbach layer* untuk (a) *single layer* (Saville, 2005) dan (b) *double layer* (Feng et al., 2007)

Dallenbach layer dapat diaplikasikan untuk satu lapisan atau lebih (*multilayer*). *Multilayer* dapat digunakan untuk meningkatkan lebar pita penyerapan. Pada umumnya material

yang digunakan sebagai material lapisan ini yaitu ferit. Penggunaan dua atau lebih lapisan dengan pita penyerapan yang berbeda akan meningkatkan penyerapan lebar pita. Apabila penyerap gelombang mikro tersebut *double layer* maka persamaan 1 menjadi:

$$Z_{in} = Z_2 \frac{Z_1 \tanh(\gamma_1 d_1) + Z_2}{Z_2 + Z_1 \tanh(\gamma_1 d_1)} \dots\dots\dots (2)$$

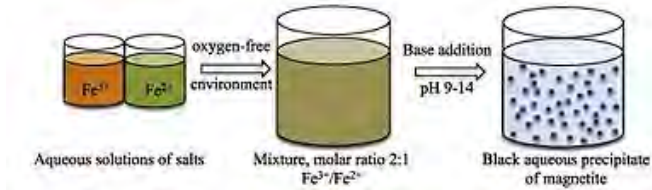
dengan Z_{in} adalah impedansi masukan yang diukur dari permukaan ke penyerap. Z_1, γ_1 , dan d_1 adalah impedansi karakteristik, tetapan rambat dan ketebalan lapisan pertama penyerap gelombang mikro. Z_2 adalah impedansi karakteristik, γ_2 adalah tetapan rambat dan d_2 adalah ketebalan lapisan kedua penyerap gelombang mikro (Feng et al., 2007)

2.6 Metode Kopresipitasi

Metode kopresipitasi merupakan salah satu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuh. Kopresipitasi merupakan metode yang menjanjikan karena prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relative lebih singkat. Beberapa zat yang paling umum digunakan sebagai zat pengendap dalam kopresipitasi adalah hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat. Produk dari metode ini diharapkan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan lebih homogeny daripada metode *solidstate* dan ukuran partikel yang lebih besar daripada metode sol-gel (Velmurugan et al., 2010).

Aturan umum menyatakan bahwa suatu partikel bulat haruslah berdiameter lebih besar dari 10^{-4} cm agar mengendap di dalam larutan sebagai endapan. Partikel pada garis tengah 10^{-4} - 10^{-7} cm disebut koloid. Metode kopresipitasi (pengendapan) merupakan salah satu jenis teknik fabrikasi dengan cara kimia. Dalam metode basah, garam-garam yang diperlukan sebagai bahan dasar dilarutkan bersama-sama dalam pelarut, misalnya

asam. Dalam larutan yang sudah diaduk homogen ditambahkan larutan pengendap sedemikian rupa sehingga endapan yang didapatkan mempunyai homogenitas yang tinggi. Homogenitas larutan ditentukan oleh lamanya bahan bereaksi dan temperatur yang digunakan.



Gambar 2.10 Metode Kopresipitasi

Proses kopresipitasi terbagi menjadi tiga, yaitu inklusi, okluasi dan adsorpsi. Inklusi terjadi ketika impuritas masuk ke dalam kisi kristal tanpa mengubah struktur kristal aslinya. Jumlah kristal tercampur bergantung pada jumlah impuritas. Selanjutnya yaitu proses okluasi terjadi ketika penyerapan impuritas terjadi adsorpsi di dalam kristal yang sedang tumbuh sehingga muncul ketidaksempurnaan kristal. Dalam keadaan ini adsorpsi menjadi faktor penentu dari jumlah okluasi. Adsorpsi permukaan oleh presipitat setelah terbentuk atau terpisah. Hal ini dapat terjadi jika presipitat mempunyai luas permukaan besar. Permukaan presipitat bersifat aktif, dimana ion-ion pada permukaan kristal belum stabil (belum mencapai batas koordinasi). Dengan demikian dapat mempengaruhi ion lain yang berlawanan dari larutan (Kolthoff, 1932).

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ultrasonic cleaner*, gelas ukur, *beaker glass*, *magnetic stirrer*, mortar keramik, gelas erlemeyer, spatula kaca, spatula besi, pipet, kertas saring, kertas pH, timbangan digital, termometer air raksa, kertas karton, krusibel alumina, dan *Furnace Naberthem*.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pasir Besi sebagai sumber Fe_3O_4 , Hydrochloric Acid (HCl) (pro analis, Merck), Air Destilasi/Aquades, Barium Karbonat (BaCO_3) (ACS reagent grade, MP Biomedicals, LLC), Zinc (Zn) (pro analis, Merck), Dodecyl Benzene Sulfonic Acid (DBSA) (70% wt solution in 2-propanol, pro analis, Aldrich), Amonium Peroksidisulfat (pro analis, Merck), Aseton (pro analis, Merck), plat baja grade A tipe AH36, cat kapal Aghata, dan thinner.

3.2 Prosedur Kerja

Pada penelitian ini, langkah kerja yang dilakukan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu preparasi dan pemurnian serbuk pasir besi, sintesis FeCl_3 , sintesis Barium M-Heksaferit, sintesis Polianilin, sintesis komposit PANi/BAM, pelapisan, dan karakterisasi.

3.2.1 Preparasi dan Pemurnian Serbuk Pasir Besi

Pasir besi ditumbuk untuk mereduksi ukuran kemudian dilakukan pengayakan dengan siever 170 mesh. Kemudian dilakukan separasi magnetic untuk memisahkan serbuk magnetic dengan serbuk non magnetic. Pasir besi hasil separasi dilakukan pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan media aquades dan alkohol untuk menghilangkan sisa pengotor organik pada permukaan serbuk pasir besi. Dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui tingkat kemurnian pasir besi.

3.2.2 Sintesis $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$

Sintesis $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$ dilakukan dengan mencampurkan serbuk pasir besi (Fe_3O_4) dengan HCl 37%. Campuran Fe_3O_4 dan HCl diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit pada suhu 70°C . Dilakukan penyaringan untuk memisahkan larutan $\text{FeCl}_3 \cdot \text{FeCl}_2$ dan H_2O dari serbuk pasir besi sisa reaksi. Selanjutnya dilakukan proses penguapan pada suhu 100°C untuk menguapkan air sehingga diperoleh larutan FeCl_2 dan FeCl_3 .

3.2.3 Sintesis Barium M-Heksaferit

Sintesis Barium M-heksaferit dengan doping ion Zn^{2+} pada $x = 0.3$ ($\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$) dilakukan menggunakan metode kopresipitasi. Berikut langkah sintesis:

- a) Persiapkan $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$ dengan metode (3.2.2)
- b) Serbuk BaCO_3 dilarutkan dalam HCl dan diaduk selama 60 menit menggunakan magnetic stirrer hingga terlarut sempurna.
- c) Serbuk Zn dilarutkan dengan HCl dan diaduk selama 30 menit menggunakan magnetic stirrer pada suhu 70°C .
- d) Larutan 1, 2, dan 3 yang sudah terbentuk dicampur dan diaduk selama 45 menit menggunakan magnetic stirrer pada suhu 70°C . Diperoleh larutan campuran dengan pH 2
- e) Dilakukan penambahan NH_4OH secara perlahan sampai pH 9 untuk membentuk endapan sempurna.
- f) Endapan dicuci dengan air destilasi sampai pH 7 dan dikeringkan pada temperature 100°C
- g) Diperoleh serbuk precursor BAM (Barium M-Heksaferit)
1. Prekursor dilakukan kalsinasi pada temperature kalsinasi 1000°C dengan waktu penahanan selama 5 jam agar diperoleh kristalin BAM.

3.2.4 Sintesis PANi

Sintesis PANi dengan menggunakan metode polimerisasi in situ dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a) Anilin dan DBSA (*Dodecyl Benzene Sulfonic Acid*) dilarutkan dalam air destilasi selama 30 menit dengan diaduk

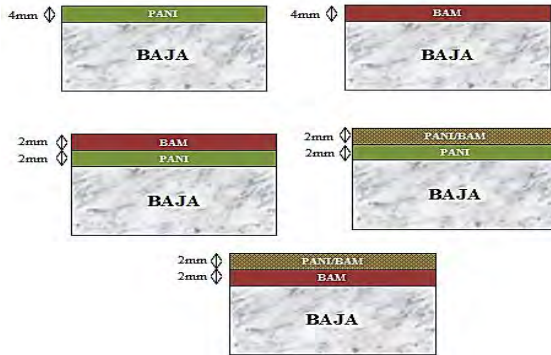
menggunakan pengaduk magnetic (*magnetic stirrer*) hingga warna menjadi putih keruh.

- b) Ammonium peroksdisulfat (APS) dilarutkan dalam air distilasi selama 30 menit.
- c) Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan larutan inisiator (APS) pada larutan (a) pada temperature 0 °C. Dilakukan proses polimerisasi selama 8jam hingga diperoleh gel yang berwarna hijau tua.
- d) Larutan PANi yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan air distilasi dan aseton sampai air pencucinya bening, kemudian dikeringkan pada temperature ruang.

3.2.5 Pelapisan Double Layer

Pelapisan *double layer* material penyerap radar pada baja dilakukan sebagai berikut.

- a) Pengadukan cat kapal Aghata dan material anti radar (PANi, BAM, komposit PANi/BAM) dilakukan dengan cara pencampuran mekanik dengan perbandingan material RAM terhadap cat sebesar 1:10. Pengadukan dilakukan selama 10 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm.
- b) Campuran dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata.
- c) Lapisan material dan cat dikeringkan beberapa hari. Setelah itu baru pelapisan lapisan kedua dengan cara yang sama.
- d) Desain eksperimen pelapisan *double layer* dengan metode *Dallenbach layer* seperti gambar berikut.



Gambar 3.1 Pelapisan *double layer* material PANi dan BAM pada baja

3.3 Karakterisasi Sampel

a) Difraksi Sinar-X

Difraksi Sinar-X digunakan untuk mengetahui fasa BAM dan PANi yang terbentuk menggunakan *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sumber radiasi berasal dari Cu-K α dengan panjang gelombang 1,540561 Å dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Pola hasil difraksi dianalisis dengan dua metode yaitu analisa kualitatif menggunakan software MATCH! dan analisa kuantitatif menggunakan software *Rietica* berbasis pada analisis *Rietveld*.

b) Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) digunakan untuk mengetahui ikatan-ikatan/gugus fungsi yang terbentuk dalam PANi yang berkaitan dengan energi vibrasional molekul. Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia ITS. Alat ini memiliki bilangan gelombang ($V_m=1/\lambda$) yang berada pada kisaran 4000-400 cm⁻¹ atau pada panjang gelombang 2,5 μ m-25 μ m.

c) Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengetahui mikrostruktur atau bentuk morfologi serta ukuran

butir rata-rata dari BAM. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini menggunakan alat SEM EVO MA 10 dengan perbesaran hingga 1.000.000 kali.

d) *RCL Meter*

RCL Meter yang digunakan adalah *Programmable Automatic RCL Meter, Fluke PM6306* (frekuensi DC sampai dengan 1MHz). *RCL Meter* digunakan untuk mengetahui konduktivitas listrik bahan RAM meliputi Polianilin, Barium M-Heksaferit dan campuran Polianilin dan Barium M-Heksaferit menggunakan perbandingan 1:1. Sampel yang diukur berbentuk pellet. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan Keramik, Jurusan Fisika FMIPA ITS.

e) *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

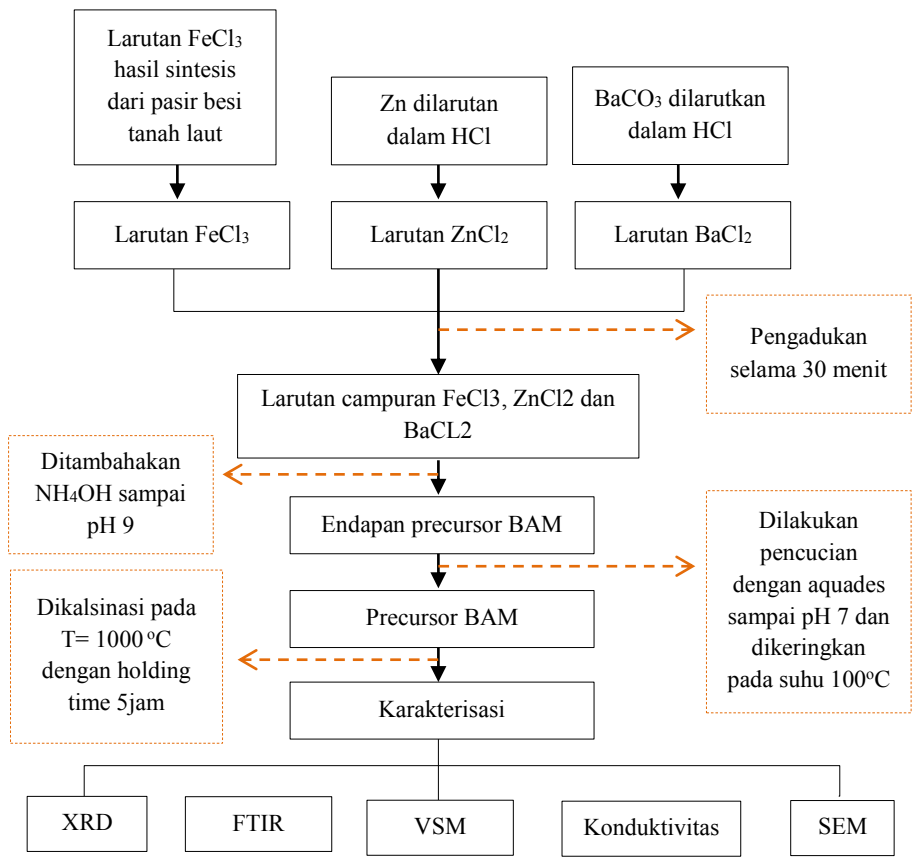
Vibrating Sample Magnetometer (VSM) digunakan untuk memperoleh kurva histeresis magnetisasi Barium M-Heksaferit, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) dan sebagai fungsi medan luar (maksimal $\pm 1,2$ T). Pengujian tersebut menggunakan VSM tipe OXFORD VSM1.2H yang dilakukan di BATAN Serpong.

f) *Vector Network Analyzer (VNA)*

VNA yang digunakan adalah *Advantest-R3770 Network Analyzer 300KHz-20GHz*. *Vector Network Analyzer (VNA)* digunakan untuk mengukur sifat serapan gelombang mikro dan parameter *scattering* suatu bahan pada rentang frekuensi 8 GHz sampai 12GHz (daerah *X-Band*). Pengukuran VNA dilakukan di PPET (Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi) LIPI Bandung.

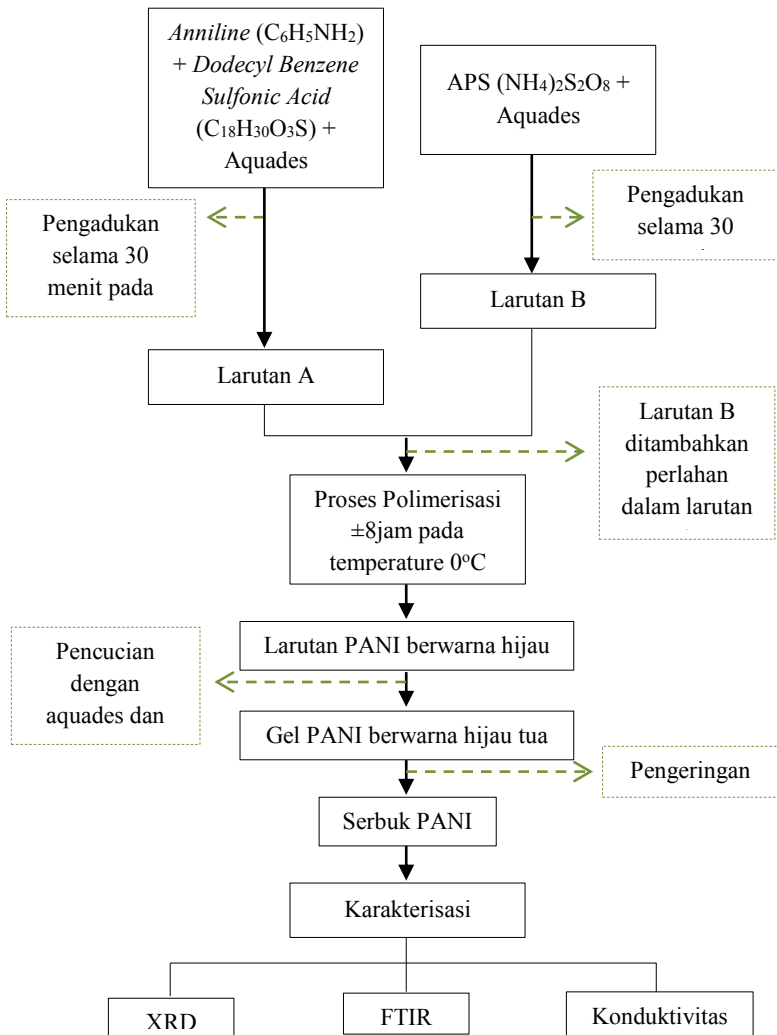
3.4 Diagram Alir Penelitian

a. Sintesis Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)

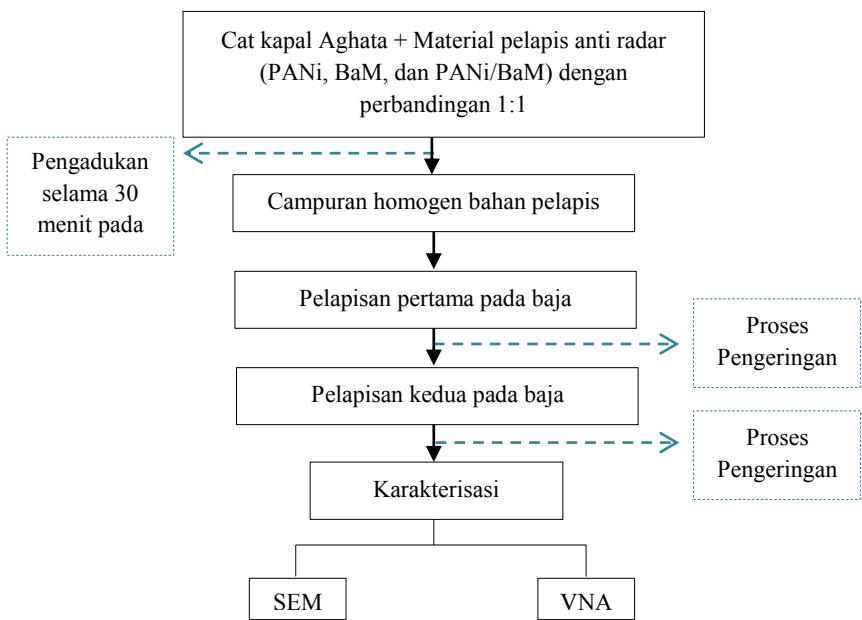


Gambar 3.2 Diagram alir sintesis BAM

b. Sintesis PANi

**Gambar 3.3** Diagram alir sintesis PANi

c. Pelapisan material



Gambar 3.4 Diagram alir pelapisan material

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Pasir Besi

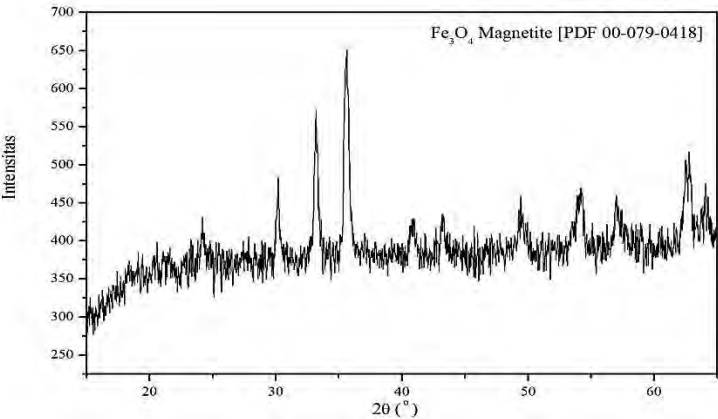
Sumber ion Fe yang digunakan dalam pembentukan Barium M-Heksaferrit diperoleh dari pasir besi Tanah Laut Kalimantan. Pasir besi sebelum pemurnian dilakukan karakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Flourescence*) untuk mendapatkan persentase kandungan unsur dalam pasir besi. Selanjutnya dilakukan proses pemurnian pasir besi yang terdiri dari dua tahapan yaitu separasi magnetic dan pencucian dengan *ultrasonic cleaner*. Proses separasi magnetic dilakukan menggunakan magnet permanen untuk memisahkan bahan magnetic (Fe) dari bahan non magnetic (pengotor). Dilanjutkan proses pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan media pencuci aquades dan alkohol 96% untuk menghilangkan pengotor organik yang menempel pada permukaan partikel besi. Hasil pemurnian pasir besi dikarakterisasi kembali dengan *X-Ray Flourescence* untuk mengetahui persentase Fe dalam pasir besi setelah proses pencucian dan separasi magnetik. Tabel 4.1 berikut menunjukkan kandungan unsur dalam pasir besi sebelum dan sesudah pemurnian.

Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi Pasir Besi Tanah Laut dengan XRF (*X-Ray Flourescence*)

Unsur	Sebelum (%)	Sesudah (%)
Si	3.3	-
P	0.2	-
Ca	2.46	0.35
V	0.035	-
Cr	0.100	0.097
Mn	0.31	0.26
Fe	91.04	98.55
Ni	0.073	0.08
Cu	0.76	0.10

Br	0.43	-
Rb	0.55	0.69
La	0.10	0.05
Eu	0.60	-
Os	0.2	-
Yb	-	0.08

Hasil karakterisasi XRF menunjukkan hasil kuantitatif persentase Fe dalam pasir besi sebelum pemurnian sebesar 91,04% yang meningkat menjadi 98,55% setelah pemurnian dengan beberapa unsur pengotor seperti Si, P, V, Br, Eu, dan Os telah hilang. Bijih utama unsur logam besi terdapat dalam mineral hematite (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4), Limonit ($\text{FeO}(\text{OH})$), dan siderit (FeCO_3). Dalam sintesis Barium M-Heksaferit dibutuhkan ion Fe^{3+} yang diperoleh pada mineral *magnetite* (Fe_3O_4) yang didapat dari hasil pemurnian pasir besi. Untuk mengidentifikasi fasa yang ada dalam pasir besi setelah dilakukan pemurnian dilakukan karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*).



Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X pasir besi

Dari hasil analisa menggunakan perangkat lunak Match2!, hasil fasa dominan yang terdapat pada pasir besi Tanah Laut yaitu fasa magnetit (Fe_3O_4) [PDF 00-079-0418].

4.2 Hasil Sintesis Material RAM

4.2.1 Material Magnetik (Barium M-Heksaferit)

Pasir besi Tanah Laut dengan fasa magnetit (Fe_3O_4) digunakan sebagai sumber ion Fe^{3+} pada sintesis Barium M-Heksaferit (BaM). Sintesis BaM dilakukan dengan metode kopresipitasi (pengendapan) dengan konsentrasi ion doping Zn sebesar $x=0,3$ sehingga akan membentuk $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$. Pemberian doping Zn $x=0,3$ ini mengacu pada penelitian (Rosyidah 2013)(2013), dimana dengan pemberian doping Zn $x=0,3$ sifat magnetik Barium M-Heksaferit berhasil direduksi dengan optimal. Hasil kopresipitasi berupa endapan precursor Barium M-Heksaferit, kemudian dilakukan kalsinasi pada temperatur 1000°C dengan *holding time* 5 jam yang mengacu pada penelitian Ramli (2012). Keunggulan dari metode kopresipitasi yaitu prosesnya menggunakan temperatur rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relative lebih singkat.

Proses sintesis Barium M-Heksaferit ini membutuhkan beberapa komponen antara lain BaCO_3 sebagai sumber ion Ba^{3+} , Zn sebagai sumber ion doping (Zn^{2+}) dan pasir besi Fe_3O_4 sebagai sumber ion Fe^{3+} dan ion Fe^{2+} . Dalam proses ini langkah pertama yang dilakukan yaitu sintesis $\text{FeCl}_3.\text{FeCl}_2$ dengan cara melarutkan pasir besi dalam HCl 37% pada temperatur 70°C , larutan tersebut disaring agar larutan yang mengandung $\text{FeCl}_3.\text{FeCl}_2$ dan H_2O dapat dipisahkan dari endapan yang kemungkinan mengandung unsur yang tidak diperlukan dan tidak larut dalam HCl. Kemudian serbuk BaCO_3 dan Zn masing-masing dilarutkan dalam HCl sehingga diperoleh hasil larutan yang bening (tanpa endapan yang mengindikasikan ion Ba^{3+} dan Zn^{2+} telah terurai sempurna). Perlu diketahui bahwa BaCO_3 memiliki sifat dapat larut pada asam lemah, sehingga perlu ditambahkan aquades pada pelarutnya. Proses pembentukan Barium M-Heksaferit dengan metode kopresipitasi ini dilakukan dengan mencampurkan ketiga larutan tersebut ($\text{FeCl}_3.\text{FeCl}_2$, ZnCl_2 dan BaCl_3) dengan pengaduk magnetic pada temperatur 70°C selama 45 menit sehingga

diperoleh larutan campuran berwarna coklat kemerahan dengan pH=2. Proses pengadukan selama proses kopresipitasi bertujuan untuk meningkatkan kontak dan frekuensi tumbukan antara partikel-partikel sehingga memungkinkan dapat mempercepat terjadinya reaksi. Sedangkan lamanya proses pengadukan ini dapat meningkatkan homogenitas partikel. Selanjutnya dilakukan proses pengendapan dengan menambahkan basa lemah NH_4OH secara perlahan sampai membentuk endapan berwarna coklat dengan pH=9, kemudian dilakukan pencucian endapan dengan aquades sampai pH=7 (netral), proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan sisa ion Cl^- dan impuritas lainnya yang memiliki massa jenis lebih ringan dan memungkinkan terjebak dalam endapan namun tidak terjadi penggabungan dalam kristal. Dengan adanya proses penggaraman tersebut kemungkinan akan terbentuk FeO , FeZnO , ZnO , FeBaO , dan BaFeZnO . Dari beberapa senyawa tersebut BaFeZnO memiliki struktur ikatan yang lebih kompleks dan massa jenis yang lebih besar sehingga pada proses pengendapan BaFeZnO lebih mudah mengendap sedangkan Cl^- dan yang lainnya yang memiliki massa jenis lebih ringan akan terbuang bersama air pada proses pencucian. Endapan hasil hidrolisis tersebut selanjutnya disaring dan dikeringkan pada temperatur 100°C sehingga diperoleh serbuk precursor Barium M-Heksaferit yang berwarna coklat (Gambar 4.2a).



Gambar 4.2 Serbuk BaM (a) prekursor (b) setelah kaslinasi

Serbuk precursor dikalsinasi pada temperature 1000°C selama 5 jam yang mengacu pada penelitian (Rosyidah 2013)

bahwa BaM terbentuk paling tidak pada temperatur 1000°C agar menjadi produk utama. Sehingga temperatur yang dipilih untuk proses kalsinasi prekursor serbuk BaM yaitu 1000°C dengan lama penahanan 5 jam dengan tujuan meningkatkan fraksi volum BaM (Rosyidah, 2013). Melalui proses kalsinasi ini semua fasa *liquid* dan gas akan menguap sehingga diperoleh hanya fasa $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ dan fasa sekunder hematit yang merupakan fasa stabil dari Fe_3O_4 . Setelah proses kalsinasi diperoleh serbuk Barium M-Heksaferit yang berwarna coklat keunguan (Gb. 4.2b).

4.2.2 Material Konduktif (Polianilin)

Polianilin disintesis dengan metode polimerisasi *in-situ*. Dalam proses polimerisasi polianilin, terjadi reaksi oksidasi kimia dengan oksidator yang digunakan adalah larutan ammonium persulfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ sedangkan monomer yang digunakan adalah anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$). Selama proses polimerisasi berlangsung terjadi beberapa kali perubahan warna. Proses awal polimerisasi diindikasikan dengan larutan yang berwarna kuning dan perlahan lahan warna berubah menjadi hijau muda kemudian menjadi warna hijau tua. Perubahan warna yang terjadi selama proses ini menunjukkan terjadinya reaksi kimia antara inisiator dengan monomer anilin, yaitu proses inisiasi. Proses selanjutnya adalah propagasi, dimana monomer – monomer anilin akan saling berikatan membentuk polianilin. Tahapan selanjutnya adalah proses terminasi, warna larutan kemudian berubah menjadi hijau tua. Hal ini menunjukkan bahwa polianilin mulai terbentuk dan mengendap di dalam campuran. Gambar 4.3 berikut merupakan serbuk polianilin yang telah dikeringkan.



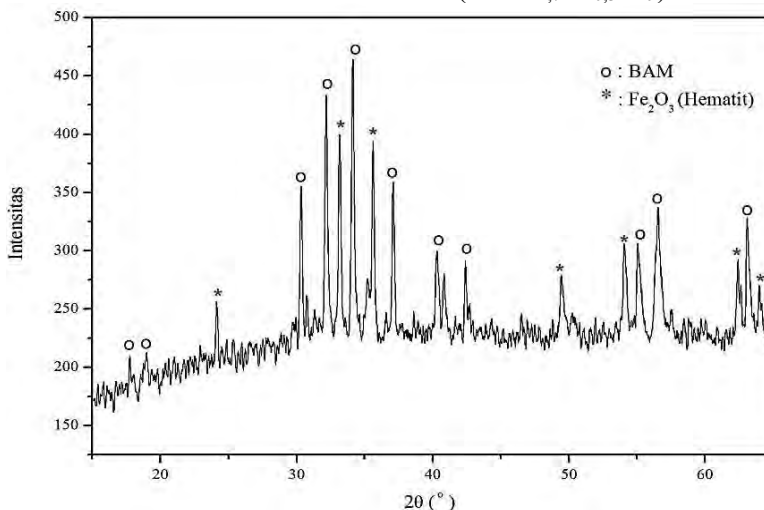
Gambar 4.3 Serbuk Polianilin

Polianilin dalam bentuk basa emeraldin memiliki sifat stabil karena konduktivitasnya dapat diatur dari $10^{-10} \text{ Scm}^{-1}$ hingga 100

Scm^{-1} melalui proses doping. Bentuk basa emeraldin dapat dibuat konduktif dengan doping asam kuat. Dalam penelitian ini digunakan doping berupa *dodecyl benzene sulphonic acid* (DBSA), dimana proton-proton ditambahkan ke situs-situs $-\text{N}=\text{}$, sementara jumlah elektron pada rantai tetap. Proses protonasi ini menghasilkan cacat rantai, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik. Proses doping ini dapat meningkatkan konduktivitas PANi (MacDiarmid, 2001).

4.3 Identifikasi Fasa RAM

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* dilakukan pada sudut 2θ dari 15° - 65° dengan sumber radiasi Cu-K α ($\lambda=1,54056 \text{ nm}$). Hasil karakterisasi RAM dengan *X-Ray Diffraction* dianalisis dengan *software Match2!* untuk mengetahui fasa apa saja yang terdapat pada RAM yang telah disintesis. Gambar 4.4 berikut merupakan hasil XRD dari Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$).



Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)

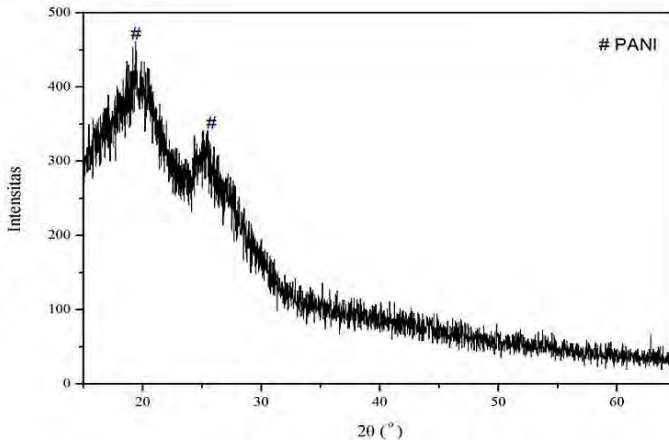
Dengan menggunakan *software Match2!* diperoleh analisa hasil XRD BaM secara kualitatif. Analisa hasil XRD diatas

menunjukkan adanya fasa dominan yaitu fasa Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) [PDF 00-074-1121] dan fasa sekunder yaitu fasa Hematite (Fe_2O_3) [PDF 00-086-0550]. Analisis lebih lanjut dilakukan dengan metode *Reitveld* untuk menganalisis secara kuantitatif komposisi fasa dengan *software rietica* dan analisis parameter kisi. Analisis dilakukan dengan dua fasa mengambil input dari data CIF 1008841 untuk fasa BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dan ICSD 201096 untuk fasa hematite (Fe_2O_3). Hasil *refinement* menggunakan *software rietica* menunjukkan bahwa fasa Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) yang terbentuk sebesar 56,64% dan fasa Hematite (Fe_2O_3) sebesar 43,36% dengan parameter kecocokan (GoF) sebesar 1,29 yang menunjukkan tingkat kesesuaian data terhitung dan data terukur yang cukup tinggi.

Barium M-Heksaferit disintesis dengan mendopingkan ion Zn^{2+} kedalam struktur Barium M-Heksaferit. Proses substitusi ion akan terjadi jika jari-jari ion hampir sama, dalam hal ini ion Fe^{3+} dengan jari-jari 0,065 nm disubstitusi oleh ion Zn^{2+} yang berjari-jari 0,074 nm. Proses substitusi ion Fe^{3+} oleh ion Zn^{2+} ini mengakibatkan terjadinya pergeseran parameter kisi yang disebabkan oleh perbedaan jari-jari ionic Fe^{3+} (ion tersubstitusi) dan jari-jari ionic Zn^{2+} (ion pensubstitusi), namun proses substitusi tersebut tidak merubah stuktur kristal Barium M-Heksaferit. Parameter kisi BaM tanpa doping ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rosyidah (2013) yaitu $a=b=5,880 \text{ \AA}$ dan $c=23,123 \text{ \AA}$, dengan volume sel satuan $692,4 \text{ \AA}$. Sedangkan pada penelitian ini parameter kisi BaM dengan doping ion Zn^{2+} $x=0,3$ ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) berdasarkan analisis *software Rietica* diperoleh $a=b=5.887753 \text{ \AA}$ dan $c=23.210546 \text{ \AA}$, dengan volume sel satuan 696.811035 \AA . Pergeseran nilai parameter kisi dan volume sel satuan ini mengkonfirmasi adanya proses substitusi ion Fe^{3+} oleh ion Zn^{2+} dalam struktur Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$). Dimana volume $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ (dengan doping Zn) lebih besar daripada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (tanpa doping)

Secara fisis proses kalsinasi serbuk precursor berperan dalam pembentukan fasa yang diinginkan. Fasa yang terbentuk tidak hanya fasa Barium M-Heksaferit namun juga terdapat fasa hematit (Fe_2O_3). Fasa hematit muncul sebagai fasa sekunder setelah dilakukan kalsinasi pada temperatur 1000°C , hal ini disebabkan karena adanya ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} pada pasir besi yang dalam proses sintesis Barium M-Heksaferit hanya ion Fe^{3+} yang diperlukan untuk membentuk struktur heksagonal $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$. Selanjutnya sisa ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} dalam larutan tersebut berikatan dengan ion O^{2-} dalam bentuk senyawa Fe_3O_4 . Kedua prekursor yang terbentuk tersebut ketika dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C selanjutnya akan membentuk fasa baru sesuai temperature pemanasannya, dalam hal ini precursor Barium M-Heksaferit membentuk $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ dan Fe_3O_4 bertransformasi menjadi fasa stabil Hematite (Fe_2O_3).

Proses kalsinasi (*heating*) pada penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan senyawa impuritas dan membentuk precursor menjadi fasa stabil Barium M-Heksaferit dengan struktur kristal yang ikatan antar patikelnya lebih kompak/kuat. Ketika terjadi proses *heating* partikel-partikel precursor $\text{FeO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan BaFeZnO mendapatkan energy panas sehingga atom-atom dalam struktur akan memiliki energy aktivasi untuk bervibrasi dan menyusun struktur dengan keadaan yang lebih stabil yaitu struktur Fe_2O_3 dan struktur $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$. Atom-atom tersebut dapat berdifusi secara menyusup (*interstisi*) maupun secara substitusi, dalam penelitian ini terjadi difusi substitusi ion Fe^{3+} oleh ion Zn^{2+} dalam struktur Barium M-Heksaferit. Proses ini cenderung terjadi pada ukuran atom yang bermigran sangat kecil dan memiliki jari-jari atomic yang hampir sama. Transformasi fasa dari magnetit menjadi alfa hematit terjadi mulai pada temperatur $< 300^\circ\text{C}$ sampai temperatur tinggi. Pembentukan fasa ini akan semakin cepat pada temperatur $> 520^\circ\text{C}$ yaitu 70-90% sampel menjadi fasa hematit dalam waktu 60 menit (Rosyidah, 2013).

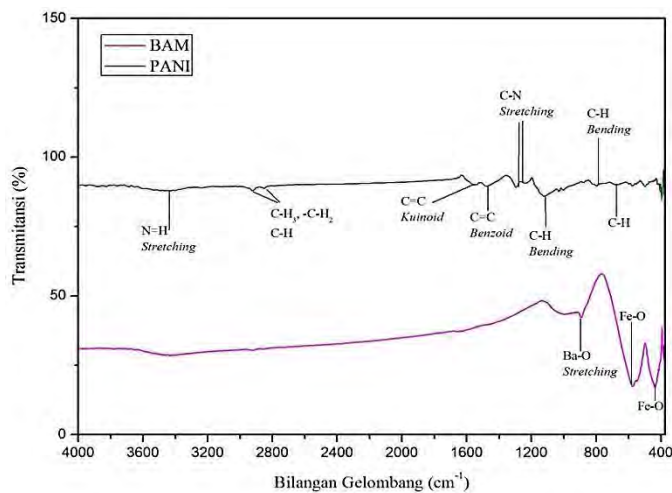


Gambar 4.5 Pola difraksi sinar-X Polianilin

Gambar 4.5 menjelaskan pola difraksi sinar-X dari polianilin, terlihat karakteristik dari polianilin yang memiliki fasa semikristalin yang diindikasikan dengan adanya pelebaran puncak difraksi pada sudut (2θ) $19,42^\circ$ dan $25,48^\circ$.

4.4 Identifikasi Ikatan Molekular RAM

Dalam proses sintesis material penyerap radar (Polianilin dan Barium M-Heksaferit) terjadi beberapa tahapan reaksi pengikatan molekul-molekul dasar menjadi senyawa tertentu. Polianilin terbentuk melalui proses polimerisasi yang terdiri dari proses inisiasi yang merupakan proses awal terjadinya reaksi kimia antara inisiator dengan monomer anilin, kemudian dilanjutkan proses propagasi, dimana monomer – monomer anilin akan saling berikatan membentuk polianilin dan proses terminasi yang mengindikasikan berakhirnya proses polimerisasi melalui penggabungan radikal polimer. Sedangkan Barium M-Heksaferit terbentuk melalui proses kopresipitasi yang terdiri dari proses inklusi, okluasi dan absorpsi. Untuk mengetahui jenis ikatan molekular yang terbentuk pada material penyerap radar yang telah berhasil disintesis dapat dilakukan karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).



Gambar 4.6 Spektrum FTIR BaM dan PANi

Gambar 4.6 merupakan hasil karakterisasi FTIR pada sampel material penyerap radar (Polianilin dan Barium M-Heksaferit). Umumnya FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu senyawa, terutama senyawa organik. Setiap serapan pada bilangan gelombang tertentu menggambarkan adanya suatu gugus fungsi spesifik dari senyawa tersebut. Hasil analisa FTIR biasanya berupa grafik hubungan intensitas IR terhadap bilangan gelombang. Untuk identifikasi, hasil grafik serapan sample akan dibandingkan dengan grafik bilangan gelombang standard (tabel 4.2).

Tabel 4.2 Data spektroskopi FTIR Polianilin dan BaM dibandingkan dengan data referensi

Jenis Ikatan Senyawa	Bilangan Gelombang Referensi (cm-1)	Bilangan Gelombang RAM (cm-1)	
		PANi	BaM
Fe-O stretching	440	-	441,71
Fe-O stretching	585	-	576,74
C-H vibration	697,21	665,46	-

C-H bending	800,53	798,56	-
Ba-O stretching	895	-	891,14
C-H bending	1122,67	1120,68	-
C-N stretching	1236	1238,34	-
C-N stretching	1290,49	1296,21	-
C=C benzoid	1473	1471,74	-
C=C quinoid	1560	1550,82	-
C-H ₃ , -C-H ₂ , C-H	2870	2852,81	-
	2926	2924,81	-
N=H stretching	3427	3446,91	-

Referensi : (Kanagesan et al. 2010), (Pereira et al. 2007),
dan (Wibawanto and Darminto 2012)

Spektrum serapan FTIR polianilin diatas menunjukkan bahwa polianilin telah terbentuk dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 798,56 cm^{-1} dan 1120,68 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-H *bending*, serta serapan pada bilangan gelombang 1471,74 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ulur C=C dari cincin benzoid. Puncak lain yang terlihat adalah puncak pada 1550,82 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur C=C cincin quinoid dan juga terlihat adanya puncak pada 1238,34 cm^{-1} dan 1296,21 cm^{-1} yang menunjukkan peregangan (*stretching*) C-N. Terdapatnya vibrasi C-H bending, C-N stretching, C=C benzoid dan C=C quinoid tersebut mengkonfirmasi karakter dari PANi konduktif fase garam emeraldin (Wibawanto and Darminto, 2012).

Sedangkan untuk mengkonfirmasi adanya ikatan molecular pada Barium M-Heksaferit ditunjukkan dengan terjadinya vibrasi metal oxide yang umumnya terjadi pada bilangan gelombang dibawah 1000 cm^{-1} (Kanagesan et al., 2010). Serapan pada bilangan gelombang 441,71 cm^{-1} dan 576,74 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ikatan antara atom oksigen dengan ion logam (Fe) masing masing adalah Fe-O (Fe-O₄) *bending* dan Fe-O (Fe-O₄) *stretching* yang mengkonfirmasi adanya pembentukan heksaferit.

Selain itu kehadiran dari Ba-O *stretching* dapat dikonfirmasi dengan adanya puncak pita penyerapan pada bilangan gelombang $891,14\text{ cm}^{-1}$. Dengan adanya vibrasi *bending* maupun *stretching* Fe-O (Fe-O₄) dan vibrasi Ba-O *stretching* dalam hasil FTIR tersebut menunjukkan bahwa Barium Heksaferit telah terbentuk.

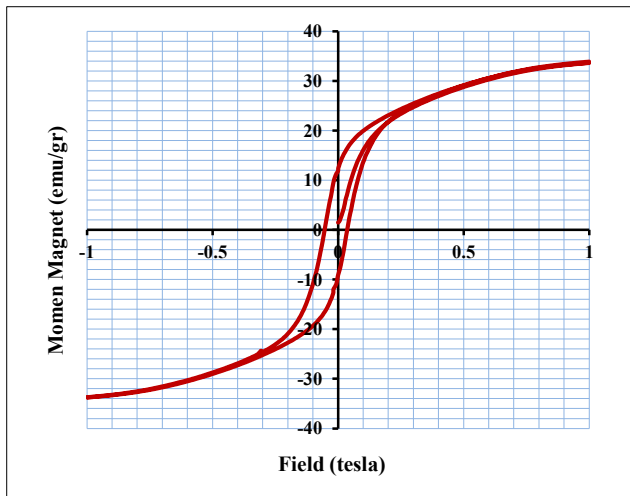
4.5 Analisis Sifat Kemagnetan RAM

Sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit (BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉) diketahui melalui analisis kurva histeresis (Gambar 4.7) yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) pada temperature ruang. Kurva hysteresis terbentuk melalui mekanisme pemberian medan magnet eksternal pada bahan sehingga domain-domain magnetic dalam bahan akan mensejajarkan diri searah dengan medan magnet dari luar. Semakin kuat medan magnetnya semakin banyak domain-domain yang mensejajarkan dirinya. Setelah seluruh domain terarahkan, penambahan medan magnet luar tidak memberi pengaruh apapun karena tidak ada lagi domain yang disearahkan (keadaan saturasi), selanjutnya diberikan medan magnet balik hingga mencapai saturasi kembali dan membentuk loop histeresis.

Besaran-besaran penting yang harus diperhatikan dalam analisis kurva histeresis untuk menentukan sifat kemagnetan antara lain medan koersivitas (H_c) yang merupakan besaran medan magnet luar yang dibutuhkan untuk mengembalikan arah momen dipol sampai magnetisasinya nol (menghilangkan sifat magnet bahan), dimana semakin besar nilainya semakin kuat sifat kemagnetannya, magnetik saturasi (M_s) yang menunjukkan kemampuan partikel untuk mempertahankan kesearahan domain – domain magnetiknya ketika masih dikenai medan magnet luar dan magnetik remanesi (M_r) adalah remanensi magnet yang tersisa (belum searah medan) didalam bahan setelah medan magnet luar ditiadakan.

Barium M-Heksaferit merupakan material magnetik yang bersifat *hard magnetic* dengan koersivitas tinggi. Rosyidah (2013) telah melakukan sintesis Barium M-Heksaferit tanpa

doping ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) diperoleh nilai magnetisasi maksimum $\sim 16 \text{ emu/g}$, medan koersivitas (H_c) $\sim 0,1734 \text{ Tesla}$, dan besar magnetisasi remanesi (M_r) $\sim 8,334 \text{ emu/g}$. Tingginya nilai medan koersivitas pada Barium M-Heksaferit tanpa doping ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) diakibatkan oleh sifat anisotropik kristalin yang dimiliki Barium M-Heksaferit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ tersusun atas domain tunggal yang lebih dominan sehingga medan yang dibutuhkan untuk menyeragamkan arah momen dipol magnetik dalam domain menjadi lebih besar pada saat magnetisasi. Domain adalah daerah pada kristal bahan magnetik dimana semua dipol magnet memiliki arah yang sama (anisotropik). Untuk mereduksi sifat anisotropik pada material Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) maka diperlukan doping dengan material yang memiliki ukuran jari-jari atomik hampir sama seperti Zn. Pada penelitian ini dilakukan sintesis Barium M-Heksaferit dengan doping ion Zn^{2+} pada $x=0,3$.



Gambar 4.7 Hasil VSM BaM Doping Zn dengan $x=0,3$

Sifat kemagnetan material Barium M-Heksaferit terdoping Zn dengan $x=0,3$ ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) dapat dilihat dari hasil

pengukuran VSM pada Gambar 4.7. Berdasarkan kurva histeresis $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ tersebut diperoleh nilai magnetisasi maksimum $\sim 33,87$ emu/g, medan koersivitas (H_c) $\sim 0,0506$ Tesla, dan besar magnetisasi remanensi (M_r) $\sim 14,782$ emu/g. Jika besaran tersebut dibandingkan dengan material Barium M-Heksaferit tanpa doping ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) pada penelitian yang dilakukan oleh Rosyidah (2013) maka dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan nilai medan koersivitas (H_c) dan peningkatan nilai magnetisasi maksimum serta magnetisasi remanensi (M_r) pada material Barium M-Heksaferit terdoping Zn ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$).

Penurunan nilai medan koersivitas pada Barium M-Heksaferit terdoping Zn ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) tersebut mengindikasikan perubahan sifat kemagnetan dari $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang bersifat *hard magnetic* menjadi $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ yang bersifat *soft magnetic*. Perubahan tersebut dapat terjadi karena adanya ion Zn^{2+} sebagai pendoping yang masuk ke dalam struktur $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggantikan ion Fe^{3+} sehingga mampu mengacak-acak susunan domain magnetic dan memperkecil momen magnetik total. Pada struktur heksagonal BaM terdiri dari 8 ion Fe^{3+} dengan kondisi spin up dan 4 ion Fe^{3+} dengan kondisi spin down (Parween, 2014). Dalam satu unit molekul BaM terdapat 6 ion $\text{Fe}^{3+} \uparrow$ menempati posisi octahedral pada blok R-S, 1 ion $\text{Fe}^{3+} \uparrow$ menempati posisi trigonal bipiramidal pada blok R, 2 ion $\text{Fe}^{3+} \downarrow$ menempati posisi octahedral pada blok S, 2 ion $\text{Fe}^{3+} \downarrow$ menempati posisi tetrahedral pada blok S, dan 1 ion $\text{Fe}^{3+} \uparrow$ menempati posisi oktahedral pada blok S. Masing-masing ion Fe^{3+} menyumbang momen magnetik sebesar $5\mu\text{B}$, sehingga diperoleh total momen magnetik per unit molekulnya $20\mu\text{B}$ ($6+1-2-2+1*5\mu\text{B}=20\mu\text{B}$). Dengan adanya substitusi ion Fe^{3+} oleh ion Zn^{2+} maka dapat mengurangi jumlah magneton bohr dari $5\mu\text{B}$ (Fe^{3+}) kemudian akan digantikan menjadi $0\mu\text{B}$ (Zn^{2+}) yang mana sebagian besar substitusi berlangsung secara serentak di *spin-down* dan *spin-up sublattices* yang mengakibatkan dapat menurunkan medan koersivitas (Rosyidah, 2013). Momen magnetic sederetan unsur

logam tersebut ditentukan berdasarkan spin yang tidak berpasangan pada orbital unsur.

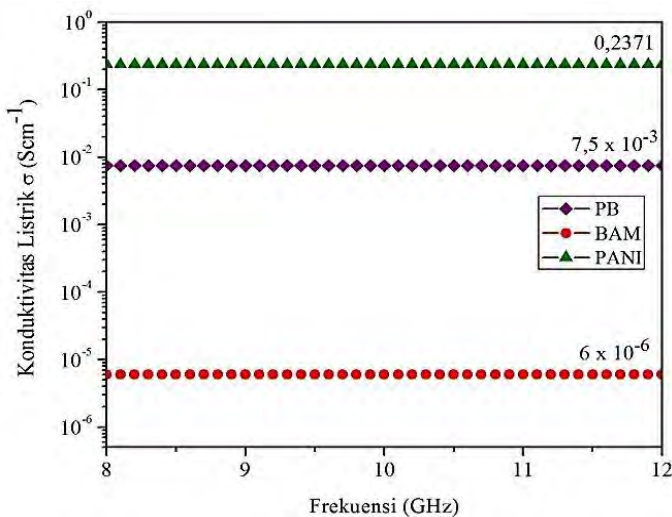
Rekayasa sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit dari *hard magnetic* menjadi *soft magnetic* ini bermanfaat dalam mekanisme penyerapan melalui disipasi energy gelombang elektromagnetik oleh material *soft magnetic* yang domain magnetiknya mudah digerakkan dengan medan magnet luar yang cukup kecil. Energi yang dibutuhkan dalam proses magnetisasi dapat dihitung dari luasan kurva hysteresis dimana pada material *soft magnetic* memiliki luasan kurva yang sempit sehingga energy yang dibutuhkan dalam proses magnetisasi relative kecil. Sifat magnetic material juga dipengaruhi oleh ukuran kristal material magnetic tersebut dimana ukuran kristal dapat menghambat pergerakan dinding domain. Ukuran kristal kecil maka batas butir yang terbentuk semakin banyak sehingga menyebabkan semakin banyaknya penghalang pergerakan dinding domain yang mengakibatkan bertambahnya ketahanan terhadap medan demagnetisasi yang artinya medan koersivitas (H_c) juga semakin besar (Saidah and Zainuri, 2012).

Dalam menentukan sifat kemagnetan suatu bahan tidak hanya dilihat dari medan koersivitas saja namun juga dapat dilihat dari parameter besaran magnetisasi maksimum dan magnetisasi remanensi. Nilai magnetik maksimum dari BaM meningkat dari 16 emu/g menjadi 34 emu/g dan nilai magnetisasi remanensi BaM juga meningkat dari 8,334 emu/g menjadi 14,782 emu/g setelah diberikan doping Zn^{2+} . Hal tersebut dikarenakan substitusi ion Zn^{2+} lebih cenderung menempati posisi tetrahedral, dan dalam struktur BaM posisi tetrahedral mempunyai struktur yang berlawanan dengan posisi oktahedral dimana posisi oktahedral yang memproduksi momen magnet total. Oleh karena itu substitusi ion Zn^{2+} dapat mereduksi momen magnet negativenya. Dengan meningkatnya nilai magnetisasi maksimum BaM terdoping Zn^{2+} ini berarti kemampuan partikel untuk mempertahankan kesearahan domain – domain magnetiknya juga meningkat. Secara fisis ketika material diberikan medan magnet eksternal

maka seketika itu momen-momen magnetik akan terpolarisasi searah dengan medan magnet eksternal yang diberikan. Semakin banyak arah orientasi momen dipol magnetiknya, maka akan dibutuhkan lebih banyak energi untuk proses polarisasinya sehingga nilai magnetisasi maksimumnya juga semakin tinggi.

4.6 Analisis Sifat Kelistrikan RAM

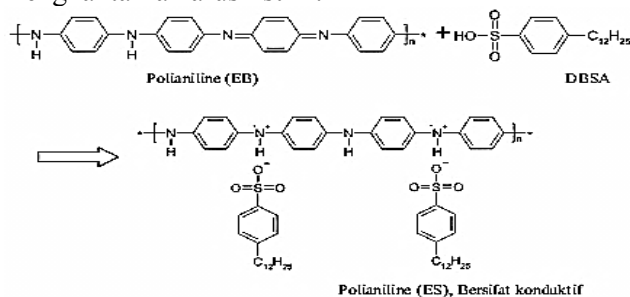
Sifat kelistrikan (konduktivitas listrik) material RAM (Polianilin dan Barium M-Heksaferit) dikarakterisasi menggunakan *RCL meter Fluke 6306* dengan metode *two point probe*. Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu material dalam menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik diperoleh melalui perhitungan dengan data pokok yang diperoleh berupa nilai resistansi material. Pengukuran dilakukan pada frekuensi mencapai 1MHz pada temperatur ruang. Gambar 4.8 berikut merupakan data konduktivitas listrik material RAM.



Gambar 4.8 Konduktivitas Listrik Material RAM

Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan bahwa material Barium M-Heksaferit memiliki nilai konduktivitas $\sim 6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$, campuran PB memiliki nilai konduktivitas $\sim 7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ dan polianilin memiliki nilai konduktivitas $\sim 0,2371 \text{ Scm}^{-1}$. Berdasarkan nilai konduktivitas listriknya, material RAM tersebut berada pada rentang nilai konduktivitas bahan semikonduktor yaitu antara 10^{-8} - 10^3 Scm^{-1} .

Konduktivitas polianilin pada frekuensi tinggi mengalami kecenderungan lebih stabil. Pada kondisi ini polianilin yang diperoleh dalam bentuk garam emeraldin. Garam emeraldin terbentuk akibat terjadi proses doping asam protonik melalui protonasi pada rantai polimer polianilin. Proses protonasi mengakibatkan terbentuknya cacat rantai berupa pasangan dikation atau disebut bipolaron yang berperan sebagai pembawa muatan. Keberadaan bipolaron ini dalam rantai polianilin akan membuat polianilin menjadi polimer konduktif. Jumlah polaron dalam polianilin berpengaruh pada nilai konduktivitas listrik polianilin yang dapat ditinjau dari struktur elektronik dan rantainya. Struktur elektronik polaron menimbulkan pita transisi antara pita valensi dan pita konduksi sehingga elektron mudah berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi pada keadaan suhu ambang. Sedangkan dari struktur rantainya, akibat dari proses doping DBSA pada struktur polianilin ini menghasilkan cacat rantai seperti gambar 4.9, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik.



Gambar 4.9 Proses Doping Polianilin dengan DBSA (Tsotra and Friedrich, 2004)

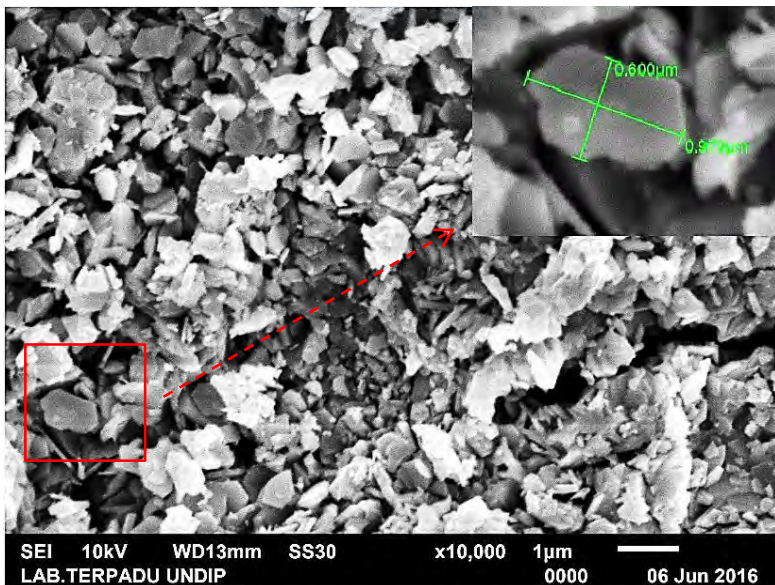
Bentuk basa emeraldin dapat dibuat konduktif dengan proses doping asam protonik seperti DBSA, dimana proton-proton ditambahkan ke situs-situs $-N=$, sementara jumlah elektron pada rantai tetap. Bentuk konduktif dari basa emeraldin disebut garam emeraldin. Bentuk dasar basa emeraldin berubah menjadi garam emeraldin melalui reaksi oksidasi dengan asam-asam protonik. Kedua bentuk emeraldine memiliki sifat listrik yang berkebalikan dimana basa emeraldin merupakan bentuk isolatif dan garam emeraldin merupakan bentuk konduktif. Derajat konduktivitas emeraldine ini bergantung pada tingkat/konsentrasi dopant yang diberikan, yaitu jumlah proton (H^+) yang dimasukkan ke dalam struktur emeraldine (Mihardi, 2008).

Konduktivitas BaM dengan nilai $\sim 6 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$ yang relatif kecil mengindikasikan kemampuan Barium M-Heksaferit dalam menghantarkan arus listrik yang sangat lemah. Oleh karena itu Barium M-Heksaferit perlu dipadukan dengan material lain dengan nilai konduktivitas tinggi untuk dijadikan sebagai material penyerap anti radar. Konduktivitas listrik dari paduan polianilin dan Barium M-Heksaferit (perbandingan 1:1) $\sim 7,5 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$, dimana nilai konduktivitas tersebut lebih rendah dari polianilin murni. Penurunan tersebut dikarenakan material BaM dalam campuran PB dapat menghambat pergerakan electron bebas bipolaron oleh gaya coulomb, tarik menarik antara muatan positif dan negatif yang mengakibatkan nilai konduktivitas PB menurun.

Berdasarkan data konduktivitas listrik yang diperoleh, ketiga material RAM termasuk dalam bahan semikonduktor yang sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang mikro karena bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan material penyerap gelombang mikro, maka akan terbentuk medan listrik pada permukaan penyerap. Setelah itu arus akan mengalir sebagai arus permukaan. Ketika arus permukaan mengalir pada penyerap, energi gelombang mikro akan diubah dalam bentuk energi panas (Syamsir, 2012).

4.7 Analisis Struktur Mikro dan Distribusi Elemen RAM

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan zat padat. Alat ini dilengkapi dengan detector disperse energy (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan ukuran partikel dari material Barium M-Heksaferrit ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$). Hasil pengamatan SEM material Barium M-Heksaferrit dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.

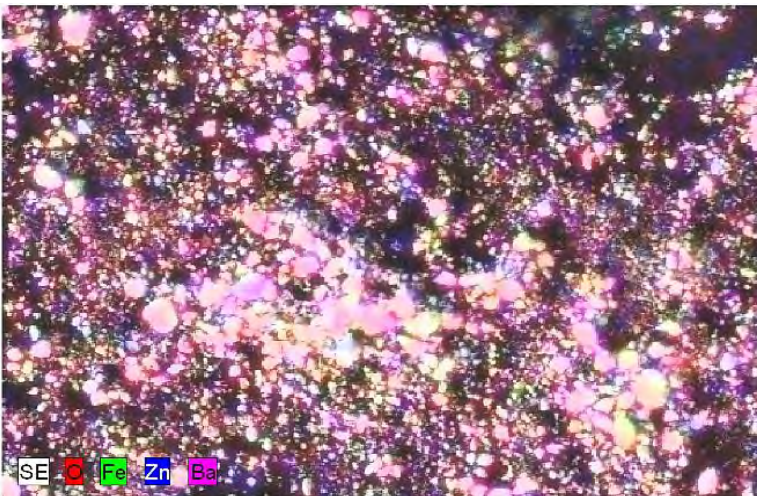


Gambar 4.10 Hasil pengamatan morfologi $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$

Dalam penelitian ini $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ merupakan material Heksaferrit yang terdoping ion Zn^{2+} . Barium M-Heksaferrit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) secara teori memiliki struktur heksagonal yang memanjang pada arah sumbu c, namun dengan adanya doping Zn^{2+} tersebut tidak mengubah struktur dasar Barium M-Heksaferrit

yaitu heksagonal. Hasil SEM pada Gambar 4.10 merupakan butir BaM yang diperbesar hingga 25.000 kali, dengan ukuran partikel sebesar $0,233\mu\text{m}$ - $0,979\mu\text{m}$. Gambar 4.10 menunjukkan adanya beberapa partikel berbentuk lain yang mengindikasikan masih adanya partikel dari fasa lain yaitu partikel hematite. Hal tersebut dapat dikonfirmasi melalui hasil identifikasi fasa hasil XRD yang menunjukkan bahwa memang terbentuk fasa dominan Barium M-Heksaferit dan fasa sekunder hematite. Hasil *scanning* material BaM menunjukkan distribusi partikel-partikel yang cenderung membentuk kumpulan partikel (aglomerasi) yang mungkin terjadi akibat adanya interaksi dipol magnet antar partikel.

Analisis lebih lanjut menggunakan detektor *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk mengetahui kehomogenan distribusi elemen-elemen material BaM serta mengetahui persebaran Zn dalam Barium M-Heksaferit secara kualitatif. Selain itu, EDX dapat memberikan informasi secara kuantitatif persentase masing-masing elemen dalam material BaM. Persebaran elemen secara kualitatif dapat dilihat pada Gambar 4.11 hasil SEM-EDX berikut.



Gambar 4.11 Hasil pengamatan SEM-EDX material BaM

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa terjadi pencampuran beberapa warna dari elemen-elemen Barium M-Heksaferit. Elemen pembentuk Barium M-Heksaferit diantaranya adalah O (warna merah), Fe(warna hijau), Zn (warna biru), dan Ba (warna ungu) yang terlihat menyebar secara merata dalam struktur BaM. Selain itu dapat dilihat bahwa Zn telah tersebar merata dalam struktur Barium M-Heksaferit. Persebaran tersebut mengkonfirmasi bahwa ion Zn^{2+} telah berhasil mensubstitusi ion Fe^{3+} dalam struktur Barium M-Heksaferit. Persentase kandungan elemen-elemen BaM tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Persentase persebaran elemen penyusun BaM

Atom	% atom dalam 1 sel	% error
O	95,08	1,6
Fe	4,44	0,4
Zn	0,24	0,1
Ba	0,24	0,1
Total	100	

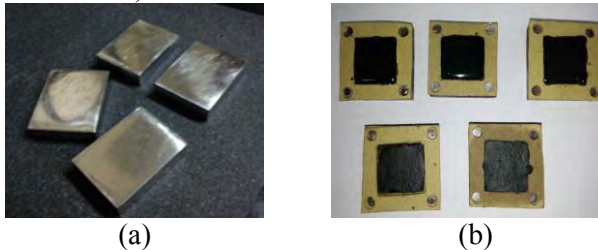
Sebaran elemen-elemen penyusun BaM secara kuantitatif berdasarkan hasil pengujian EDX, dalam satu unit sel terdapat 95,08% atom O, 4,44% atom Fe, 0,24% atom Zn dan 0,24% atom Ba. Sedangkan jika diperhitungkan secara analitik dengan mengacu pada jumlah atom pada satu unit sel $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ diperoleh %atom O sebesar 59,38%, %atom Fe sebesar 36,56%, %atom Zn sebesar 0,94% dan %atom Ba sebesar 3,12% . Namun hasil pengukuran dengan hasil perhitungan tersebut sedikit berbeda. Perbedaan persentase persebaran tersebut kemungkinan akibat adanya fasa sekunder hematite sehingga merubah persentase berat atom. Analisis kuantitatif EDX menunjukkan bahwa unsur O dan Fe memiliki persentase berat atom yang lebih berat dikarenakan unsur Fe dan O merupakan unsur utama pembentuk partikel BaM dan hematite. Dapat disimpulkan berdasarkan hasil uji EDX dapat dikonfirmasi terbentuknya $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ dalam material BaM.

4.8 Analisis Penyerapan Gelombang Mikro Lapisan *Double Layer*

Mekanisme penyerapan gelombang mikro dibagi menjadi dua aspek yaitu desain geometri yang dirancang bersudut radar absorbing structure (RAS) dan metode pelapisan berbasis pada material penyerap gelombang radar (RAM) (Ramprecht dan Sjoberg, 2007). Penelitian ini mengembangkan metode pelapisan *double layer* dengan *Radar Absorbing Material* (RAM) yang memiliki kemampuan menyerap gelombang elektromagnetik sehingga meminimalkan gelombang yang dipantulkan. Sifat optik material penyerap radar terbagi menjadi tiga yaitu *active loading*, *passive loading*, dan *distributed loading*. Proses penyerapan gelombang mikro oleh material aktif yaitu dengan mendeteksi peristiwa radiasi dan memancarkan sinyal dengan amplitud sama namun fase berlawanan sehingga terjadi superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul sehingga gelombang tersebut saling menghilangkan (destruktif). Material pasif cenderung mencegah adanya hamburan balik dengan mengubah impedansi permukaan sedemikian sehingga impedansi material sama dengan impedansi udara, akibatnya gelombang datang akan diteruskan dan tidak dihamburkan. Sedangkan *distributed loading* adalah pelapisan permukaan dengan material penyerap radar yang mempunyai komponen permitivitas atau permeabilitas (material elektrik dan magnetic) sehingga dimungkinkan terjadinya penyerapan energy gelombang mikro (Saville, 2005).

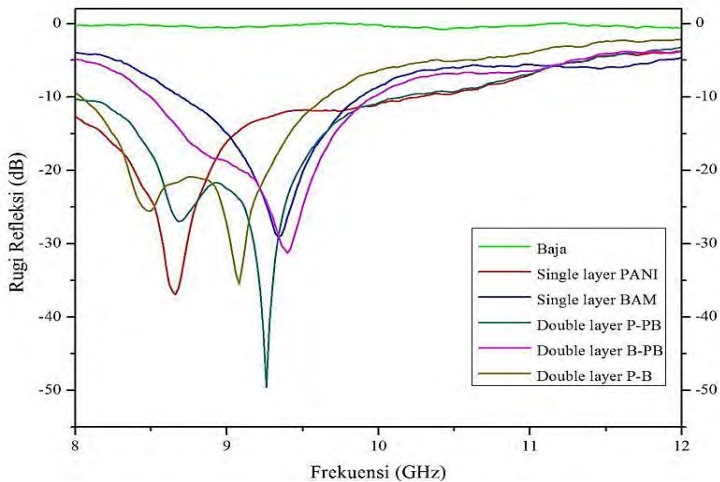
Dalam penelitian ini digunakan material magnetik (Barium M-Heksaferit) dan material konduktif (Polianilin). Selanjutnya RAM dicampurkan dalam cat Agatha sehingga membentuk komposit isotropik dengan RAM sebagai *filler* sedangkan cat sebagai *binder* (pengikat). Pelapisan komposit dilakukan sesuai metode *Dallenbach* dengan ketebalan lapisan cat 4 mm yang memenuhi seperempat panjang gelombang sebagai syarat terjadinya penyerapan optimal metode *Dallenbach layer*. Pengukuran daya serap terhadap gelombang mikro dilakukan pada variasi pelapisan *single layer* PANi, *single layer* BaM,

double layer P-B, *double layer* P-PB, dan *double layer* B-PB (lihat Gambar 4.12).



Gambar 4.12 (a) Baja AH36 (b) dengan pelapis

Pengukuran *reflection loss* pada baja AH36 sebelum dan setelah proses pelapisan RAM dilakukan dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) pada rentang frekuensi *X-Band* (8GHz-12GHz). Berikut ini merupakan grafik *reflection loss* RAM pada rentang frekuensi 8-12GHz.



Gambar 4.13 Grafik rugi refleksi pada frekuensi *X-Band*

Hasil pengukuran VNA pada Gambar 4.13 diatas memuat informasi *reflection loss* terhadap frekuensi pada rentang *X-Band*.

Berdasarkan nilai *reflection loss* dari masing-masing material pelapis dapat diketahui besarnya nilai koefisien refleksi, besar energi gelombang yang dipantulkan dan energi gelombang yang diserap.

Tabel 4.4 Data karakteristik penyerapan material RAM

Material	RL _m (dB)	Frekuensi (GHz)	Koefisien Refleksi (Γ)	Energi yang diserap (%)
BaM	-29,1	9,34	0,0351	87,70
PANi	-36,9	8,66	0,0143	97,96
P-B	-35,5	9,08	0,0168	97,18
P-PB	-49,6	9,26	0,0033	99,89
B-PB	-31,3	9,40	0,0272	92,59

Material magnetic BaM pada penelitian ini terbentuk dari dua fasa yaitu fasa ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) sebesar 56,64% dan fasa sekunder Hematite (Fe_2O_3) sebesar 43,36%. Merujuk pada penelitian yang telah dilakukan Amalia (2014) bahwa partikel Hematite juga mempunyai kemampuan untuk menyerap gelombang mikro dengan *reflection loss* sebesar -28,69dB pada frekuensi dibawah *X-Band* (6-8 GHz). Sehingga adanya fasa sekunder hematite ini diharapkan tidak mengurangi kemampuan dalam hal penyerapan gelombang mikro, karena pada dasarnya material ferit memiliki sifat kemagnetan yang baik. Berdasarkan data pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa setiap material memiliki karakteristik penyerapan yang berbeda-beda. *Reflection loss* mendefinisikan besaran energy gelombang elektromagnetik yang hilang setelah mengenai material (energy terserap), pada penelitian ini diperoleh rugi refleksi terbesar pada pelapisan *double layer* P-PB yaitu sebesar -49,6 dB. Besarnya nilai rugi refleksi pada pelapisan *double layer* P-PB ini disebabkan adanya perpaduan mekanisme penyerapan oleh material magnetic BaM dan material konduktif PANi sehingga energy gelombang elektromagnetik dapat terserap secara optimal. Merujuk pada hasil penelitian Amalia (2014) bahwa komposit PANi/BaM (PB)

sebagai material konduktif-magnetik menghasilkan rugi refleksi paling baik dan mampu meningkatkan penyerapan gelombang mikro. Telah diketahui bahwa gelombang elektromagnetik terdiri dari dua komponen yaitu komponen medan listrik dan komponen medan magnet yang saling tegak lurus. Energi gelombang elektromagnetik merupakan resultan dari energy medan listrik dan energy medan magnet. Untuk mengoptimalkan penyerapan gelombang elektromagnetik, maka material pelapis harus memiliki komponen rugi kelistrikan (*electrical loss*) dan komponen rugi magnetik (*magnetical loss*) yang mampu berinteraksi dengan medan listrik maupun medan magnet dalam gelombang elektromagnetik.

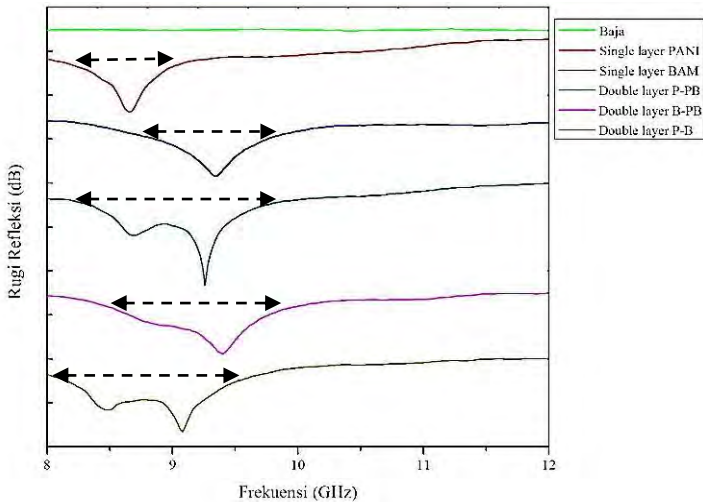
Mekanisme absorpsi dapat ditinjau dari sifat optic material terdistribusi (*distributed loading*) menggunakan material elektrik dan magnetic yang memungkinkan adanya penyerapan energy gelombang mikro oleh material. Sifat kelistrikan ketiga material RAM (PANi, BaM, dan PB) termasuk dalam rentang kelistrikan bahan semikonduktor, namun konduktivitas listrik ketiga material tersebut berbeda sehingga mampu mempengaruhi mekanisme penyerapan pada komponen *electrical losses*. Material polianilin (PANi) merupakan material dengan sifat kelistrikan paling baik diantara kedua material lainnya (BP dan BaM). Material PANi dengan sifat kelistrikan optimal sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang mikro karena bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas. Ketika gelombang mikro datang mengenai material konduktif (PANi) maka muatan muatan bebas dalam struktur rantai bipolaron akan terkena medan listrik. Medan listrik tersebut menimbulkan gaya coulomb sehingga muatan bergerak dan menghasilkan arus listrik. Ketika arus mengalir sebagai arus permukaan material, energy gelombang mikro akan diserap dalam bentuk energy panas. Sedangkan sifat kemagnetan BaM dapat berperan dalam mekanisme rugi magnetik (*magnetical losses*). Barium M-Heksaferit terdoping Zn lebih bersifat *soft magnetic* dimana momen magnetic total lebih kecil. Dengan momen magnetic total

kecil artinya domain magnetiknya mudah digerakkan dengan medan magnet luar yang cukup kecil sehingga energy elektromagnetik dapat terdisipasi sebagai rugi magnetik.

Disisi lain mekanisme rugi refleksi dapat ditinjau dari sifat optic material yaitu sebagai material aktif. Mekanisme penyerapan gelombang mikro oleh material komposit PANi/BaM sebagai material aktif terjadi ketika gelombang elektromagnetik yang datang mengenai material konduktif (PANi) maka akan terbentuk medan listrik yang menimbulkan gaya Coulomb. Pembawa muatan pada struktur bipolaron akan bergerak dan menghasilkan arus listrik. Arus listrik tersebut dapat menimbulkan medan magnet induksi yang akan diperkuat oleh medan magnet dari material magnetic (BaM). Medan magnet dari BaM dan PANi tersebut selanjutnya akan bersuperposisi saling melemahkan dengan medan magnet gelombang elektromagnetik datang sehingga gelombang elektromagnetik yang dipantulkan melemah. Dengan menggabungkan material magnetic BaM dan material konduktif PANi dalam pelapisan *double layer* terbukti mampu menyerap energi gelombang elektromagnetik dengan sangat baik yaitu sebesar 99,89% energy elektromagnetik diserap.

Koefisien refleksi dengan symbol Γ merupakan rasio perbandingan antara gelombang pantul terhadap gelombang datang. Apabila besar koefisien refleksi Γ bernilai nol, maka dapat diartikan bahwa impedansi beban *matched* dengan impedansi saluran dan tidak ada gelombang yang dipantulkan oleh material. Pelapisan material dengan pelapis *double layer* P-PB memiliki koefisien refleksi yang paling kecil mendekati nol yaitu sebesar 0,0033 sehingga gelombang elektromagnetik yang dipantulkan juga kecil yaitu hanya 0,11% dari energy gelombang elektromagnetik dan sisanya 99,89% dari energy gelombang elektromagnetik diserap oleh bahan pelapis.

Pelapisan *double layer* akan meningkatkan pelebaran dari penyerapan gelombang elektromagnetik, khususnya pada rentang frekuensi *X-Band* (8-12 GHz). Gambar 4.14 menunjukkan pelebaran pita serapan gelombang elektromagnetik



Gambar 4.14 Pelebaran pita penyerapan pada frekuensi *X-Band*

Analisis lebih lanjut mengenai pelebaran pita serapan pada pelapisan *double layer* terhadap pelapisan *single layer* pada rentang frekuensi 8GHz-12GHz dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Pelebaran pita penyerapan pelapisan *double layer*

Material	Pita penyerapan (GHz)	Lebar Pita Penyerapan (GHz)	% Pelebaran pita dari BaM	% Pelebaran pita dari PANi	RL _m (dB)
BaM	8,6-10	1,4	-	-	-29,1
PANi	8,0-9,3	1,3	-	-	-36,9
P-B	8,1-9,64	1,54	10	19	-35,5
P-PB	8,2-10	1,8	29	39	-49,6
B-PB	8,5-9,98	1,48	6	14	-31,3

Penyerapan pada pelapisan *single layer* BaM dan *single layer* PANi pada penelitian ini sudah mampu mencakup keseluruhan frekuensi *X-Band* yaitu frekuensi 8GHz-12GHz, namun terdapat puncak serapan karakteristik pada range frekuensi tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan penyerapan material maksimum terletak pada frekuensi tersebut. Material

pelapis *single layer* BaM cenderung membentuk puncak serapan pada frekuensi 8,6-10 GHz dengan lebar pita serapan 1,4GHz sedangkan untuk material pelapis *single layer* PANi cenderung membentuk puncak serapan pada frekuensi 8,0-9,3GHz dengan lebar pita serapan 1,3 GHz.

Untuk meningkatkan keefektifan penyerapan oleh material dapat digunakan desain pelapisan *double layer*. Pelapisan *double layer* ini mengakibatkan adanya keberagaman kemampuan penyerapan material sehingga mampu memperlebar pita penyerapan pada frekuensi *X-Band*. Dari ketiga desain pelapisan *double layer* terlihat adanya pelebaran pita serapan yang merupakan gabungan dari puncak serapan karakteristik PANi dan puncak serapan karakteristik BaM (lihat Gambar 4.14). Dengan desain pelapisan *double layer* P-B, *double layer* P-PB, dan *double layer* B-PB ini diperoleh pelebaran pita serapan paling optimal pada pelapisan *double layer* P-PB dengan lebar frekuensi penyerapan sebesar 1,8GHz. Lebar frekuensi penyerapan *double layer* P-PB naik 29% terhadap pita serapan *single layer* BaM dan naik 39% terhadap pita serapan *single layer* PANi. Pelebaran pita penyerapan juga terjadi pada pelapisan *double layer* P-B dan pelapisan *double layer* B-PB dengan pelebaran pita penyerapan masing-masing sebesar 1,54 GHz dan 1,48 GHz. Lebar frekuensi penyerapan *double layer* P-B dan *double layer* B-PB masing-masing naik 10% dan 6% terhadap pita serapan *single layer* BaM sedangkan jika dibandingkan terhadap pita serapan *single layer* PANi masing-masing naik sebesar 19% dan 14%.

Pelebaran pita penyerapan menunjukkan keefektifan dari material RAM untuk mereduksi energy gelombang elektromagnetik, sehingga gelombang elektromagnetik terpantul sangat lemah. Dengan desain pelapisan *double layer* disini berarti menggabungkan material RAM dengan kemampuan dan karakteristik penyerapan yang berbeda pada setiap layer sehingga semakin lebar rentang frekuensi penyerapan gelombang elektromagnetiknya dan material tersebut lebih efektif dalam pengaplikasiannya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Barium M-Heksaferit doping ion Zn^{2+} telah berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi diperoleh fasa Barium M-Heksaferit yang terbentuk sebesar 56,64% dan fasa Hematite (Fe_2O_3) sebesar 43,36%. Dengan ukuran partikel BaM berdasarkan pengujian SEM yaitu $0,233\mu\text{m}$ - $0,979\mu\text{m}$.
2. *Double layer* efektif memperlebar pita penyerapan pada rentang frekuensi *X-Band* dengan membentuk puncak serapan karakteristik pada rentang frekuensi tertentu yaitu BaM 8,6-10 GHz, PANi 8,0-9,3GHz, P-B 8,1-9,64 GHz, B-PB 8,5-9,98 GHz, dan P-PB 8,2-10 GHz. Pelebaran pita penyerapan paling optimal pada pelapisan *double layer* P-PB dengan pelebaran frekuensi penyerapan sebesar 1,8 GHz.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan proses pemurnian Fe^{3+} dalam senyawa Fe_3O_4 (pasir besi) agar diperoleh Barium M-Heksaferit dengan persentase tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada variasi struktur *double layer* karena berpengaruh terhadap rugi refleksi gelombang elektromagnetik.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai desain *multilayer* berbasis pada beberapa variasi material konduktif seperti PANi, karbon serta material magnetic seperti Fe_3O_4 , Fe_2O_3 dan BaM.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, William D, and David G Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8th ed. United States: John Wiley & Sons Inc.
- Feng, Y. B., T. Qiu, and C. Y. Shen. 2007. "Absorbing Properties and Structural Design of Microwave Absorbers Based on Carbonyl Iron and Barium Ferrite." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 318 (1): 8–13.
- Ghasemi, A., A. Hossienpour, A. Morisako, A. Saatchi, and M. Salehi. 2006. "Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 302 (2): 429–35.
- Gill, Baltej Singh. 2012. "Effect of Particle Size on The Magnetic Properties Of Barium Hexaferrite Bonded Magnets." Thapar University, Patiala.
<http://dspace.thapar.edu:8080/dspace/handle/10266/1971>.
- Gürer, Göksu. 2010. "Design and Characterization of Electromagnetic Wave Absorbing Structural Composites." Middle East Technical University.
- Hahn, Dong W., and Young Ho Han. 2006. "C02Z Type Hexagonal Ferrites Prepared by Sol–gel Method," *Materials Chemistry and Physics*, 95: 248–51.
- Han, Youn-Gyu, Takafumi Kusunose, and Tohru Sekino. 2009. "One-Step Reverse Micelle Polymerization of Organic Dispersible Polyaniline Nanoparticles." *Synthetic Metals* 159 (1): 123–31.

- Huang, Jiaxing, and Richard B. Kaner. 2004. "A General Chemical Route to Polyaniline Nanofibers." *Journal of the American Chemical Society* 126 (3): 851–55.
- Kanagesan, S., S. Jesurani, R. Velmurugan, C. Kumar, and T. Kalaivani. 2010. "Magnetic Hysteresis Property of Barium Hexaferrite Using D-Fructose as a Fuel." *Journal of Materials Science and Engineering* 9.
- Kolthoff, I. M. 1932. "Theory of Coprecipitation. The Formation and Properties of Crystalline Precipitates." *The Journal of Physical Chemistry* 36 (3): 860–81.
- MacDiarmid, Alan G. 2001. "'Synthetic Metals': A Novel Role for Organic Polymers." *Current Applied Physics* 1 (4): 269–279.
- Meshram, M. R., Nawal K. Agrawal, Bharoti Sinha, and P. S. Misra. 2004. "Characterization of M-Type Barium Hexagonal Ferrite-Based Wide Band Microwave Absorber." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 271 (2): 207–14.
- Mihardi, Isran. 2008. "Karakteristik Optik Dan Listrik Polianilin Yang Di-Doped HCl." IPB.
- Molapo, Kerileng M., Peter M. Ntangili, Rachel F. Ajayi, Gcineka Mbambisa, Stephen M. Mailu, Njagi Njomo, Milua Masikini, Priscilla Baker, and Emmanuel I. Iwuoha. 2012. "Electronics of Conjugated Polymers (I): Polyaniline." *International Journal of Electrochemical Science* 7 (12): 11859–75.
- Parween, Nilofer. 2014. Study of Barium Hexaferrite (BaFe₁₂O₁₉) Synthesised by Sol Gel Auto-Combustion Technique. Rourkela: Dept of Physics and Astronomy.
- Pereira, F. M. M., C. A. R. Junior, M. R. P. Santos, R. S. T. M. Sohn, F. N. A. Freire, J. M. Sasaki, J. A. C. de Paiva, and A. S. B. Sombra. 2007. "Structural and Dielectric Spectroscopy

- Studies of the M-Type Barium Strontium Hexaferrite Alloys (Ba_xSr_{1-x}Fe₁₂O₁₉).” Springer Sciences 19: 627–38. doi:10.1007/s10854-007-9411-5.
- Pradhana, IGB. 2009. “Sintesis Nano Polianilin-Fe₃O₄ Dan Karakterisasi Sifat Listrik Dan Magnetiknya.”
- Ramli, Irwan, Inayati N. Saidah, R. S. Findah, and M. Zainuri. 2012. “Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Hexaferrit Dengan Doping Zn (BaFe₁₁, 4 Zn₀, 6 O₁₉) Menggunakan Metode Kopresipitasi.”
- Ramprecht, Jürgen, and Daniel Sjöberg. 2007. “Biased Magnetic Materials in RAM Applications.” *Progress In Electromagnetics Research* 75: 85–117.
- Rosyidah, Kurniawati C. 2013. “Sintesis Dan Karakterisasi Struktur, Sifat Magnet Dan Sifat Listrik Komposit Barium M-Hexaferrit/Polianilin Berstruktur Core-Shell Berbasis Pasir Besi Alam.”
- Saidah, Inayati Nur, and Mochamad Zainuri. 2012. “Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Hexaferrit Dengan Doping Zn (BaFe₁₁, 4Zn₀, 6O₁₉) Menggunakan Metode Kopresipitasi.” *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 1 (1): B41–B46.
- Saville, Paul. 2005. “Review of Radar Absorbing Materials.” DTIC Document. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA436262>.
- Sholihah, Findah Rahmawatus, and Mochamad Zainuri. 2012. “Pengaruh Holding Time Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-Hexaferrite (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) Dengan Ion Doping Zn.” *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 1 (1): B25–29.

- Syamsir, Arasi, and others. 2012. "Sintesis Nanokomposit PAni/TiO₂/Karbon Sebagai Penyerap Gelombang Mikro." *Jurnal Fisika Unand* 1 (1). <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/9>.
- Tsotra, P., and K. Friedrich. 2004. "Thermal, Mechanical, and Electrical Properties of Epoxy Resin/polyaniline-Dodecylbenzenesulfonic Acid Blends." *Synthetic Metals* 143 (2): 237–242.
- Velmurugan, Kandasamy, Vellaiyappan Sangli Venkatachalapathy, and Sechassalom Sendhilnathan. 2010. "Synthesis of Nickel Zinc Iron Nanoparticles by Coprecipitation Technique," *Materials Research*, 3: 299–303.
- Vinnik, D. A., A. S. Semisalova, L. S. Mashkovtseva, A. K. Yakushechkina, S. Nemrava, S. A. Gudkova, D. A. Zherebtsov, N. S. Perov, L. I. Isaenko, and R. Niewa. 2015. "Growth, Structural and Magnetic Characterization of Zn-Substituted Barium Hexaferrite Single Crystals." *Materials Chemistry and Physics* 163 (August): 416–20. doi:10.1016/j.matchemphys.2015.07.059.
- Vlack, V. 1984. *Ilmu Bahan Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam Dan Bukan Logam)*. 5th ed. Jakarta: Erlangga.
- Wibawanto, Rakhmat Hidayat, and Darminto. 2012. "Elektropolimerisasi Film Polianilin Dengan Metode Galvanostatik Dan Pengukuran Laju Pertumbuhannya." *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* 8 (1): 1201041–45.
- Zainuri, M. 2010. *Laporan Akhir Studi Absorpsi Elektromagnetik Pada M-Hexaferrites Untuk Aplikasi Anti Radar*. ITS Surabaya.

LAMPIRAN A

A. Proses Pemurnian Pasir Besi



Gambar 1. Pasir besi



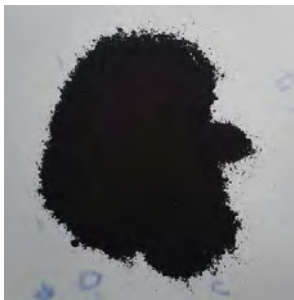
Gambar 2. Separasi Magnetik



Gambar 3. Pencucian dengan Ultrasonic Cleaner



Gambar 4. Hasil pencucian pasir besi



Gambar 5. Pasir Besi selesai pencucian

B. Proses Pembuatan Barium M-Heksaferit



Gambar 1. Larutan BaCl_2



Gambar 2. Larutan ZnCl_2



Gambar 3. Larutan
 $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$



Gambar 4. Larutan Campuran



Gambar 5. Prekursor BaM

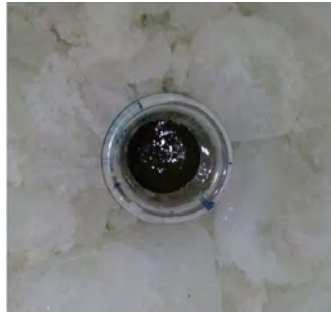


Gambar 6. Serbuk BaM

C. Proses Pembuatan PANi



Gambar 1. Larutan Inisiator APS



Gambar 2. Proses Polimerisasi

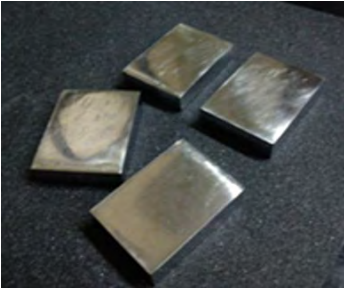


Gambar 3. Penyaringan dan Pencucian

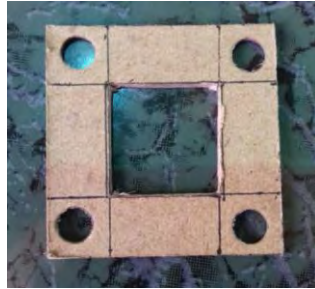


Gambar 4. Serbuk PANi

D. Pelapisan Baja Grade AH36 dengan RAM



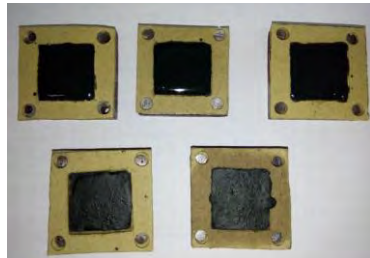
Gambar 1. Plat Baja Sebelum Pelapisan



Gambar 2. Pembuatan Cetakan



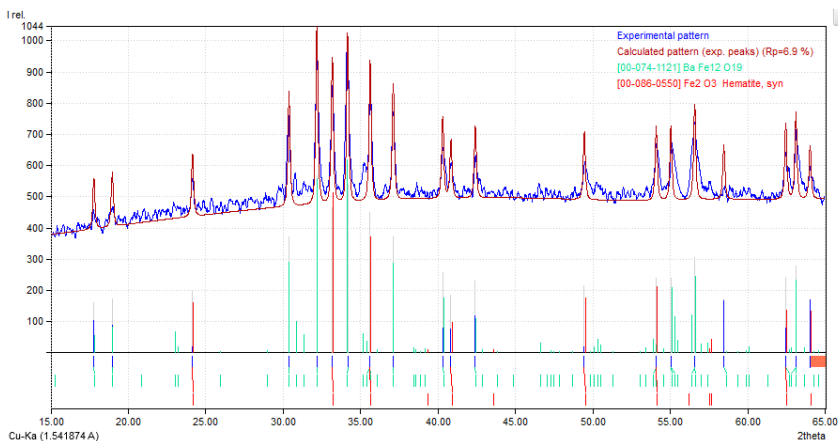
Gambar 3. Pecampuran cat dan RAM



Gambar 4. Hasil Pelapisan

LAMPIRAN B

Hasil analisa XRD dengan *software Match2!*



Index Amount (%) Name Formula sum

A	60.9		Ba Fe ₁₂ O ₁₉
B	39.1	Hematite, syn	Fe ₂ O ₃

Matched Phases

A: Ba Fe₁₂ O₁₉ (60.9 %)

Formula sum	Ba Fe ₁₂ O ₁₉
Entry number	00-074-1121
Figure-of-Merit (FoM)	0.842167
Total number of peaks	124
Peaks in range	60
Peaks matched	20
Intensity scale factor	0.62
Space group	P6 ₃ /mmc
Crystal system	P6 ₃ /mmc
Unit cell	a= 5.8930 Å
I/I _{cor}	2.54
Calc. density	5.291 g/cm ³

Reference

Calculated from ICSD
using POWD-12++ **125**,
11 (1997)***B: Hematite, syn (39.1 %)***

Formula sum

Fe₂ O₃

Entry number

00-086-0550

Figure-of-Merit (FoM)

0.907036

Total number of peaks

28

Peaks in range

12

Peaks matched

7

Intensity scale factor

0.51

Space group

R-3c

Crystal system

R-3c

Unit cell

a= 5.0355 Å

I/I_{cor}

3.27

Calc. density

5.269 g/cm³

Reference

Calculated from ICSD
using POWD-12++ **50**,
435 (1997)**Peak List**

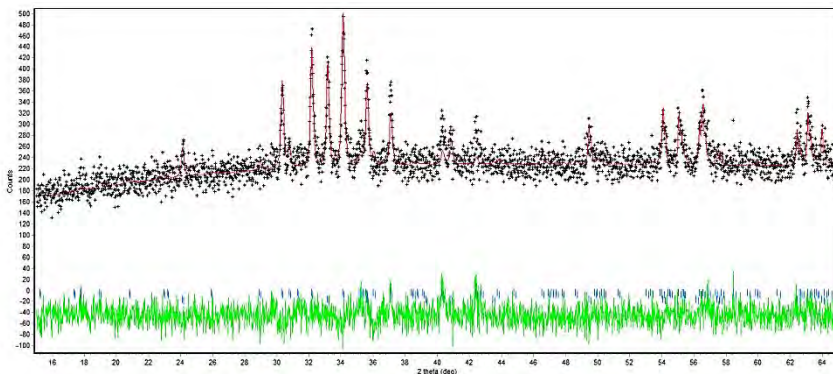
<i>No.</i>	<i>2theta [°]</i>	<i>d [Å]</i>	<i>I/I0</i>	<i>FWHM</i>	<i>Matched</i>
1	17.77	4.9908	161.79	0.1600	A
2	18.96	4.6808	174.53	0.1600	A
3	24.15	3.6860	198.61	0.1600	B
4	30.37	2.9435	370.89	0.1600	A
5	32.16	2.7831	567.25	0.1600	A
6	33.16	2.7017	465.78	0.1600	B
7	34.15	2.6255	540.59	0.1600	A
8	35.60	2.5218	449.84	0.1600	A,B
9	37.09	2.4238	372.05	0.1600	A
10	40.28	2.2388	258.80	0.1600	A
11	40.82	2.2109	186.52	0.1600	B
12	42.39	2.1325	230.90	0.1600	A
13	49.42	1.8441	216.54	0.1600	B

14	54.06	1.6963	238.95	0.1600	A,B
15	55.01	1.6693	238.12	0.1600	A
16	56.55	1.6275	305.06	0.1600	A
17	58.43	1.5795	174.07	0.1600	A
18	62.43	1.4877	243.57	0.1600	A,B
19	63.08	1.4738	278.13	0.1600	A
20	64.00	1.4549	169.27	0.1600	A

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN C

Pengahalusan Rietveld dengan *Software Rietica*



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:		
PHASE 1:	13.85	0.61	56.64	1.91	
PHASE 2:	86.15	4.82	43.36	2.09	

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	5.87	7.45	6.56	1.679	1.722	2974

SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION
0.4053E+05	0.6907E+06	0.6868E+06	0.6907E+06	0.1290E+01	0.2582E+17

DERIVED BRAGG R-FACTOR= 1.99

Phase: 1						
PHASE SCALE FACTOR	=	0.289010E-05	-0.746291E-09	0.712897E-07		
OVERALL TEMP. FACTOR	=	0.000000	0.000000	0.000000		
CELL PARAMETERS	=	5.887753	-0.000011	0.000990		
		5.887753	-0.000011	0.000990		
		23.210546	-0.000051	0.005337		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		90.000008	0.000000	0.000000		
		120.000015	0.000000	0.000002		
RECIPROCAL CELL	=	0.196	0.196	0.043	90.000	90.000 60.000
CELL VOLUME	=	696.811035	0.230494			
SCALE * VOLUME	=	0.002014	0.000050			
MOLECULAR WEIGHT	=	2596.305				
DENSITY	=	6.184				
ABSOLUTE PHASE VALUES:						
INC	=	NEUTRONS ON SAMPLE/CM^2 (in cm^-2)				
MASS	=	MASS OF PHASE IN BEAM (in g)				
ls/R	=	RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR				

Then:

$$\text{INC} \cdot \text{MASS} \cdot \text{ls/R} = 3569.72$$

```

+-----+
|               Phase:  2               |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR   = 0.138386E-04-.131138E-070.585888E-06
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS      = 5.036376 -0.000032 0.000834
                      5.036376 -0.000032 0.000834
                      13.740950 0.000024 0.003681
                      90.000008 0.000000 0.000000
                      90.000008 0.000000 0.000000
                      120.000015 0.000000 0.000001
RECIPROCAL CELL      = 0.229 0.229 0.073 90.000 90.000 60.000
CELL VOLUME          = 301.844696 0.107416
SCALE * VOLUME       = 0.004177 0.000177
MOLECULAR WEIGHT     = 958.193
DENSITY              = 5.269
ABSOLUTE PHASE VALUES:
  INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM^2 ( in cm^-2)
  MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)
  ls/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR
Then:
  INC*MASS*ls/R = 2732.63

```

LAMPIRAN D **Data ICSD BAM (BaFe₁₂O₁₉)**

```
#-----
#$Date: 2012-02-28 12:14:52 +0000 (Tue, 28 Feb 2012) $
#$Revision: 35911 $
#$URL: file:///home/coder/svn-
repositories/cod/cif/1/00/88/1008841.cif $
#-----
# This file is available in the Crystallography Open Database
(COD),
# http://www.crystallography.net/
# All data on this site have been placed in the public domain by
the
# contributors.
data_1008841
  _chemical_name_systematic      'Barium dodecairon(III) oxide'
  _chemical_formula_structural    'Ba Fe12 O19'
  _chemical_formula_sum           'Ba Fe12 O19'
  _publ_section_title
;
X-ray analysis of the structural and dynamic properties of Ba
Fe12 O19
hexagonal ferrite at room temperature
;
loop_
  _publ_author_name
    'Obradors, X'
    'Collomb, A'
    'Pernet, M'
    'Samaras, D'
    'Joubert, J C'
  _journal_name_full              'Journal of Solid State Chemistry'
  _journal_codен_ASTM             JSSCBI
  _journal_volume                 56
```

_journal_year	1985
_journal_page_first	171
_journal_page_last	181
_cell_length_a	5.8920(1)
_cell_length_b	5.8920(1)
_cell_length_c	23.183(1)
_cell_angle_alpha	90
_cell_angle_beta	90
_cell_angle_gamma	120
_cell_volume	697.0
_cell_formula_units_Z	2
_symmetry_space_group_name_H-M	'P 63/m m c'
_symmetry_Int_Tables_number	194
_symmetry_cell_setting	hexagonal

loop_

_symmetry_equiv_pos_as_xyz	
'x,y,z'	
'-y,x-y,z'	
'y-x,-x,z'	
'-y,-x,z'	
'y-x,y,z'	
'x,x-y,z'	
'-x,-y,-z'	
'y,y-x,-z'	
'x-y,x,-z'	
'y,x,-z'	
'x-y,-y,-z'	
'-x,y-x,-z'	
'-x,-y,1/2+z'	
'y,y-x,1/2+z'	
'x-y,x,1/2+z'	
'y,x,1/2+z'	
'x-y,-y,1/2+z'	
'-x,y-x,1/2+z'	
'x,y,1/2-z'	

```

'-y,x-y,1/2-z'
'y-x,-x,1/2-z'
'-y,-x,1/2-z'
'y-x,y,1/2-z'
'x,x-y,1/2-z'
loop_
  _atom_type_symbol
  _atom_type_oxidation_number
  Ba2+ 2.000
  Fe3+ 3.000
  O2- -2.000
loop_
  _atom_site_label
  _atom_site_type_symbol
  _atom_site_symmetry_multiplicity
  _atom_site_Wyckoff_symbol
  _atom_site_fract_x
  _atom_site_fract_y
  _atom_site_fract_z
  _atom_site_occupancy
  _atom_site_attached_hydrogens
  _atom_site_calc_flag
  Ba1 Ba2+ 2 d 0.6667 0.3333 0.25 1. 0 d
  Fe1 Fe3+ 2 a 0. 0. 0. 1. 0 d
  Fe2 Fe3+ 4 e 0. 0. 0.25733(4) 0.5 0 d
  Fe3 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.02713(2) 1. 0 d
  Fe4 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.19030(2) 1. 0 d
  Fe5 Fe3+ 12 k 0.16868 0.33735(7) -0.10825(1) 1. 0 d
  O1 O2- 4 e 0. 0. 0.15094(13) 1. 0 d
  O2 O2- 4 f 0.3333 0.6667 -0.05454(12) 1. 0 d
  O3 O2- 6 h 0.18213 0.36426(47) 0.25 1. 0 d
  O4 O2- 12 k 0.15647 0.31294(35) 0.05192(8) 1. 0 d
  O5 O2- 12 k 0.5026 0.00520(34) 0.14957(8) 1. 0 d
  _refine_ls_R_factor_all 0.016
  _cod_database_code 1008841

```

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN E
Data ICSD Hematite Fe₂O₃

COL ICSD Collection Code 15840
 DATE Recorded Jan 1, 1980; updated Jun 2, 1999
 NAME Iron(III) oxide - alpha
 MINR Hematite - from Elba, Italy
 MINR Corundum group
 FORM Fe₂ O₃
 = Fe₂ O₃
 TITL Refinement of the hematite structure
 REF American Mineralogist
 AMMIA 51 (1966) 123-129
 AUT Blake R L, HessevickÿRÿE, ZoltaiÿT, FingerÿLÿW
 CELL a=5.038(2) b=5.038 c=13.772(12) â=90.0 á=90.0 ç=120.0
 V=302.7 D=5.26 Z=6
 SGR R -3 c H (167) - trigonal
 CLAS -3m (Hermann-Mauguin) - D3d (Schoenflies)
 PRS hR30
 ANX A2X3
 PARM Atom__No OxStat Wyck -----X-----Y-----Z-----
 -SOF-
 Fe 1 3.000 12c 0. 0. 0.35530(1)
 O 1 -2.000 18e 0.3059(1) 0. 1/4
 WYCK e c
 ŷ
 TF Atom á(1,1) á(2,2) á(3,3) á(1,2) á(1,3) á(2,3)
 Fe 1 0.0080 0.0080 0.0003 0.0040 0.0000 0.0000
 (1) (1) (0) (1)
 O 1 0.0068 0.0083 0.0005 0.0042 0.0006 0.0012
 (2) (3) (0) (1) (0) (1)
 REM M PDF 33-664
 RVAL 0.036

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis “Deril Ristiani” merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di desa Ngepung, dsn. Ngepung, kec. Patianrowo, kabupaten Nganjuk pada tanggal 13 Januari 1995 yang telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Pertiwi Patianrowo, SDN Ngepung IV, SMPN 1 Patianrowo, SMAN 1 Patianrowo. Setelah lulus dari SMAN 1 Patianrowo pada

tahun 2012, penulis mengikuti jalur SNMPTN tulis dengan beasiswa BIDIKMISI dan diterima di jurusan Fisika ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 1112100037. Selama menjadi mahasiswa Fisika ITS penulis aktif dalam mengikuti Organisasi baik jurusan maupun Institut, diantaranya staff Departemen PEREKONOMIAN HIMASIKA ITS selama 2 periode yakni pada tahun 2013-2014 dan 2014-2015. Selain itu, penulis juga menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material tahun 2015/2016, Asisten Laboratorium Fisika Madya tahun 2014-2016, mengikuti penelitian periode 2014/2015. Kritik dan saran dapat dikirim ke email: deril.risty@gmail.com.

More info:

FB : Deril Ristiani

Phone : +6289677273358

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”